

文章编号:1005-9865(2015)01-0001-13

我国海岸工程技术展望

左其华, 窦希萍, 段子冰

(南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029)

摘 要:从海岸动力监测体系、河口海岸侵蚀及防护、海岸工程深水和离岸趋势、极端条件下海岸工程结构安全、岛礁工程开发技术、海岸管理与数字海岸、亲水工程、海洋能技术利用开发和海岸工程研究等九个方面对我国海岸工程中面临的问题,以及国外相关工程技术进展情况进行了分析,并指出我国未来海岸工程领域需要加以关注的重点问题和发展趋势。

关键词:海岸工程;海岸防护;工程建设;环境与管理;科学研究

中图分类号:P753

文献标志码:A

DOI:10.16483/j.issn.1005-9865.2015.01.001

Prospects of coastal engineering technology in China

ZUO Qihua, DOU Xiping, DUAN Zibing

(Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: The existing problems in coastal engineering in China and the progress in foreign countries are analyzed in nine aspects, such as dynamic monitoring system, estuarine and coast erosion and protection, deepwater and offshore trend of coastal engineering, coastal engineering structures safety under extreme conditions, development technology of island and reef engineering, coast management and digital coast, hydrophilic engineering, utilization and development of ocean energy technology and coastal engineering research. The key problems and development trend of coastal engineering in China are pointed out.

Keywords: coastal engineering; coast protection; project construction; environment and management; scientific research

近十多年来,我国在海岸工程建设方面取得了令人瞩目的成绩,推动了该领域科学技术的发展。在河口治理、海岸防护、港口建设、围填海工程、跨海桥隧、修船造船、能源工程、渔业工程、海岸管理和科学研究等方面大大缩短与国际发达国家的差距。但是,也应该看到,我国海岸工程的进展相当大的比重是集中体现在建设规模上。随着可持续发展的要求,尤其是国家城镇化建设对沿海发展的需要,海岸工程将面临新的机遇和挑战。这些机遇和挑战主要包括海岸动力监测体系的完善、河口海岸普遍冲刷趋势与防护、大型海岸工程向离岸和深水发展、极端条件下海岸工程结构安全、岛礁工程和围填海工程的新技术应用、海岸管理与数字海岸建立、亲水工程与生态环境需求、海洋能利用和谨慎开发、海岸工程科学研究的多学科交叉与多手段耦合研究等^[1],应引起人们的重视与思考。

1 海岸动力监测体系

1.1 国际海岸动力监测状况

国际海洋观测目标是建立全球联网的立体观测系统,目前已发展起包括卫星遥感、浮标阵列、海洋观测站、水下剖面、海底有缆网络和科学考察船的全球化观测网络,作为数字海洋的技术支持体系,提供全球性的实时或准实时的基础信息和信息产品服务。例如,全球海洋观测系统(GOOS)和全球实时地转流观测计划

收稿日期:2014-09-30

作者简介:左其华(1954-),男,博士,教授级高级工程师,主要从事海岸工程方面的研究。E-mail:qhzu@nhri.cn

(ARGO)等,覆盖面都非常广泛。美国国家基金委员会有关未来 10 年海洋科学的重点发展领域中,将“大断面全球海洋大气立体观测”放在首位。美国的“海洋观测计划”是用几千公里的光缆将海洋和陆地连接,将光缆接入互联网,建立穿越海洋的“信息高速公路”。国际 ARGO 计划将建成由 3 000 余个浮标组成的全球实时海洋观测网,截止到 2007 年 4 月全球海洋中的 ARGO 浮标已达到 2 852 个。目前美国有基于 NOAA 的 90 个浮标、60 个海岸自动观测网和 175 个水位观测站以及多源卫星构成的海洋动力环境监测网,并由国家业务海洋产品和服务中心为用户提供相关海洋信息。美国和加拿大联合正在东北太平洋海底建设深海长期观测网——海王星(NEPTUNE)计划,布设在水下约 3 000 m 海床上,覆盖海域约 500 万平方公里。欧洲国家也在多个重点海域进行了长期连续观测。

日本和韩国在其邻近海域部署长期的国家断面进行长时间序列观测,为本国的海洋生态与环境、生物资源和军事海洋学研究提供基础资料。日本在日本列岛东部海域沿日本海沟的跨越板块边界,建设了长约 1 500 km,宽约 200 km 光/电缆连接的深海地震观测网(ARENA),并计划延伸至我国的东海海域,目前正向地震、海洋学和生物学等多学科观测和研究方向发展。韩国政府已在黄海南部建立了海洋科学观测站,并计划在济州岛西南海域建立海底观测系统。

1.2 我国海岸动力监测状况

经过几十年的建设和发展,我国也初步形成近岸海洋动力观测系统。对于一些大中型海岸工程项目,政府也明确要求旨在加强科学论证的现场观测。目前,我国常规海洋业务观测主要依靠国家海洋局和中国科学院一些近海海洋观测平台。为了摸清我国现有包括海岸工程在内的海洋状况、规划和优化海洋发展布局,2007 年实施了“我国近海海洋综合调查与评价”专项(简称 908 专项),进行近海海洋综合调查,尝试构建我国近海“数字海洋”信息基础框架。

国家海洋局现有 15 个中心站、66 个海洋岸基观测站、6 个固定浮标以及少量 ARGO 浮标。在近海方面,自 2002 年以来,我国已在太平洋和印度洋布放了 35 个剖面浮标。这些测量的主要目的是获取海洋内部的海流、温度和盐度等资料,而波浪等对海岸工程影响较大的参数似尚未明确包括在内。中国科学院 2009 年在北黄海长山群岛所属獐子岛以南 20 海里($122^{\circ}45'E, 38^{\circ}45'N$ 附近),水深约 50 m 处,与地方共建了黄海海洋环境观测平台及其陆基支撑站;并在东海长江口嵎山岛(舟山群岛)以东海域($123^{\circ}E, 30^{\circ}30'N$),水深 50 m 处,建立东海海洋环境长期综合观测浮标,在嵎山岛建立陆基支撑站。该站涵盖物理海洋、海洋地质、海洋生态和海洋化学等诸多要素的综合测量,主要开展长江口区域海洋环境长期多参数的连续观测。2007 年在西沙群岛的主岛——永兴岛($112^{\circ}20'E, 16^{\circ}50'N$)建立了西沙海洋环境观测站,以物理海洋观测为主。2009 年新建南沙海洋环境观测站,与西沙站、大亚湾站、海南三亚国家近海生态环境监测站构成南海海洋环境与生态监测网络^[2]。

在海岸动力观测体系建立方面,台湾因其地理位置和沿岸范围局限,与大陆相比观测体系更完善些。

总体上来讲,我国大陆海洋观测手段仍以岸基台站为主且数量不足,分布不尽符合需要;离岸观测能力薄弱,空间覆盖率低;长期和连续观测资料少,不能满足多学科同步观测的要求,观测技术也相对落后;观测数据不能共享,科学研究资源严重浪费,与世界发达海洋国家相比有较大差距,制约了海岸工程科学研究的发展。采用岸站、雷达、浮标、潜标、海上平台、卫星遥感等多种观测手段^[3-4],建设覆盖范围广、高效、稳定的海洋观测网络,提高海洋观测技术水平,建立数据开放共享的管理应用平台,为预防和减轻海洋灾害提供决策依据是今后一段时期的重要工作。

1.3 海洋监测发展趋势

我国近期在海洋观测技术方面主要有这样几个发展趋势^[5]:

1) 改进的传统方法仍是今后工程应用观测的主要手段

卫星观测技术虽有其先进性,但要应用于工程还需一定的时间,这除其技术本身的一些缺陷外,主要是某一位置采样的间断性。传统的海岸动力测量通常在某一固定位置,每隔一段时间观测一次;而卫星观测是由运行轨道决定,数天重复一次,对若干平方公里的海面观测。改进的传统观测方法仍是今后应用的主要手段。传统的测量仪器和设备应向易于操作、实时处理和智能采样方向发展,未来的浮标(筒)将使用现代的、更为可靠的海洋动力变化跟踪单元,GPS 技术将是每个浮筒上的标准配置,提供整体系统精度;声学测波仪器应在如何减小恶劣环境下的噪声上下功夫;通过布放测量仪器以及改进传感器精度的方法,获区不同水深

处的水动力要素等。

2) 遥感技术向实用性方向发展

遥感技术是今后的主要发展方向,已经有人试图将这一方法用于水动力长期分布的估计。在船舶或平台上,可利用海上雷达测波和流,地面的 HF 雷达也已在大范围水动力测量方面证明其能力。然而,雷达光束映象信息和由三维雷达映象谱到海洋环境要素之间求逆的技术还不完全成熟。

卫星遥感资料正成为大尺度海洋气象水文研究的重要部分,一般海况下已经达到浮筒的测量精度。双频率高度计的测量精度也在提高,特别在风速测量上。卫星高度计所测水文气象资料已是而且还继续是这一领域全球信息源,在这方面我国近几年内会有较明显的进展。利用北斗导航系统,从太空用孔径雷达和高精度光学照相对海流、波浪、泥沙输运和风暴潮的观测将会有较快的进展。

遥测仪器的一个发展趋势就是由卫星实时传输大量的数据。采用该方法进行实时处理能减少数据信息存储量,使得仪器能较长时间运行。由于卫星遥感资料是不定时的,也不是等时间间隔的观测,采样覆盖范围较大从而分辨率受到限制,也不能自动增加对极端现象的观测,从而遥感资料可能漏掉最大值,用此方法估计的多年一遇的值可能会偏小。为此,必须针对各卫星的特点和长处,采用多种手段,尽量使其满足工程需要,例如与岸基观测站相结合等。英国 SOS(卫星观测系统)已有一种想法,就是将雷达高度计成本降低,用小卫星组成较为密集的网格覆盖全球,称为 GANDER(消除风险全球高度计网络)计划。该计划由 12~16 个卫星组成,是一简单的低成本系统。

传统量测技术与卫星遥感技术的组合已被使用多年,今后会结合得更多更好,还可以与近岸长期测站资料相配合得到深水处的气象水文长期分布。

3) 更为精确的反演技术和非线性方法是今后主要研究内容

非线性海洋动力要素随机性的特性仍然是今后研究的热点。目前卫星遥感波浪资料处理正在进行不同版本的、由 SAR 映象中得到海洋环境要素算法的研究,其精确度还有待改进。所有 SAR 映象谱的内在弱点在于雷达传播方向显著衰减。非线性效应导致 SAR 图像谱在方位上存在高波数截断,截断之后有些信息丢失,沿运行方向传播的水面波动,其 SAR 图像谱存在“双峰”现象。这些都可能用非线性理论加以解释。

虽然目前的气象水文观测技术可以满足现在海岸工程中设计的基本需要,但离岸的大型建筑物,如美国海军可移动离岸海上基地(MOBS)的可行性研究就要求知道数平方公里范围内波浪场的空间耦合特性。目前的仪器还没有办法或还不能被证明可以提供这样重要的信息。随着我国海洋资源开发的不断深入,有理由相信我们也会很快遇到类似问题。

4) 注重长期观测资料的连续性判别

限于当时经济条件和技术水平,我国不少建于 20 世纪 60 年代初期的海岸观测站点大都位于浅水处,数十年过去,观测点水深变化较大,有的甚至已数易观测点。从测量方法看,早期资料所用的量测手段均较落后,有些是目测,而现在大多是自动量测,甚至采用卫星测量;从观测点环境动力看,有些河口地区受到上游人为因素影响,入海水文条件已经发生很大变化。早期多年实测资料与现有资料的连续利用是我国今后工程水文资料同化分析中亟待解决的难点。

5) 观测资料的共享与否对我国海岸工程技术进展影响甚大

我国现场观测技术及其应用水平提高应该采取的另一重大对策就是要解决资料共享这一难题。20 世纪 80 年代中期以前,国家海洋水文站点资料是对外公开的。近三十余年来,这些海洋站点的资料使用必须是有偿的,甚至有时有偿也是难以取得,更无法共享一些单位观测的资料。出现这一现象的主要原因应是国家对海洋水文现场观测投入不足,其次是部门局部利益问题。我国沿海数以百计海岸工程的建设项目,尤其近些年国家建设投入的增多,基本上每一较大的工程都有大小规模不等的现场观测,但没有对这些资料进行整合并建立相应的数据库,以致这些资源的开发利用不够,既带来较大的浪费,也阻碍海岸工程技术的进步。

2 河口海岸侵蚀及防护

2.1 河口及水下三角洲将普遍侵蚀

入海泥沙锐减使得河口三角洲海岸岸滩在新的动力泥沙环境下发生新的调整,过去的淤涨型河口海岸转化成平衡型或侵蚀型。长江三峡枢纽工程建成后,入海泥沙减少了 3/4,长江口门外的水下三角洲堆积速

率已明显趋缓,淤积速率从 1958~1978 年时段的 55 mm/a 下降为 1978~1998 年时段的 11 mm/a,近 20 年长江口水下三角洲已出现大范围的侵蚀^[6];黄河因上游取水以及小浪底等枢纽工程的建设,黄河三角洲从过去年均造陆 23 km²,演变为大面积的侵蚀后退,使胜利油田受到潮淹堤坝的威胁,具有重要生态功能的滨海湿地大面积丧失,滩涂资源减少;珠江三角洲河道大量采砂,使得入海泥沙大量减少。中小河流存在同样的问题,渤海湾沿岸许多入海河流出现有河无尾的现象,如滦河入海泥沙在引滦工程后减少了 95%;胶州湾 20 世纪 80 年代的入湾河流泥沙仅相当于 50 年代的 2%~3%;苏北废黄河口和现代黄河三角洲北部废弃河口地区,是河流改道导致海岸侵蚀的典型实例。

2.2 海岸侵蚀日趋严重

海岸侵蚀是一种全球性的自然灾害。目前,世界上 70% 的沙质海岸出现侵蚀,侵蚀速率为 10 cm/a,中国的平原海岸亦有 70% 左右在侵蚀后退^[7]。我国海岸侵蚀自 20 世纪 50 年代末期日渐明显,较发达国家迟约半个世纪。上世纪 60 年代海岸侵蚀主要发生在粉沙淤泥质海岸,进入 70 年代,由于不合理的开发活动,如海滩资源与海底砂矿开采、水库截留泥沙等,各种类型的海岸侵蚀均有所加剧。2000 年以来,沙质海岸侵蚀速率大多在 1~3 m/a 之间,淤泥质海岸侵蚀速率大都在 10~20 m/a。我国海岸侵蚀总体上是北强南弱,长江口以北遭受海岸侵蚀的岸段十分普遍,且侵蚀速率较大,如江苏省较多海岸遭受侵蚀^[8];山东省有 70% 的沙岸受到侵蚀,侵蚀速率约为 2 m/a;河北省海岸带无论是南岸的泥岸还是北岸的沙岸均以蚀退、冲滩为主要态势,辽西海岸目前也在蚀退;长江口以南,除受强潮影响的杭州湾北岸以外,海岸侵蚀现象发生较少;福建省的中、南部海岸侵蚀较严重,广东、海南和广西等省、自治区也有局部海岸侵蚀现象发生。

预计全球性海平面上升将加剧这一侵蚀过程。据代表性长期验潮站资料统计,过去 100 年全球海平面上升速率为 1.5 mm/a。近 30 年来,中国沿海海平面总体上升了 90 mm,2007 年中国沿海海平面平均上升速率为 2.5 mm/a,高于全球海平面的上升速率。有人预计未来 10 年,中国沿海海平面将比 2007 年上升 32 mm。海平面上升直接导致海岸侵蚀加剧和大片海滨湿地的丧失。

2.3 国外海岸防护发展状况

对于海岸侵蚀,欧美等国初期采取护岸工程进行防护,防护型式趋于多样化。如德国采用木质丁坝护岸,木质丁坝的优点是与环境的亲和性较好,修建后可捕集海岸泥沙,防护岸线;采取培育连续的沙丘链,防止海岸后退;在没有足够构筑空间的海岸,采用移动式海堤挡御风暴潮,在没有风暴潮的季节里,打开通道,供人们与自然海岸互动。20 世纪 90 年代以来,环境友好型的人工育滩工程在欧、美、日等发达国家的海岸防护中逐步兴起。目前欧洲大部分海岸均受到人工控制,如海岸防护及堤防工程、沙丘稳定工程、土地围垦工程、河流控制工程等。“硬工程”为防潮堤和海堤,“软工程”指海滩补给及砾石滩补给喂养措施,由于“软工程”的灵活性和兼容性,在欧洲得到推广应用。

2.4 海岸整体防护体系的规划与建立

海岸防护工程的理想目标是通过人为引导,使岸滩剖面和岸线形态达到平衡。海岸整体防护设计的基本思路为按照海岸侵蚀和防护的时空尺度差异,分级(不同尺度)控制。凡属需护滩工程的海岸应进行平衡剖面的研究才能使护滩更为有效。利用重要海岸工程作为一级节点,构造人工岬角(凹湾)作为二级、三级乃至多级节点,人为增加岸线的相对长度使海洋动力能量分散释放,保沙固沙,从而构建海岸整体防护体系。一级节点的布局主要是针对大范围的海岸侵蚀趋势,遏制潮流作用引起的水下岸坡进一步侵蚀后退,从而在更长周期内起到对近岸海滩和堤防工程的保护作用;二级节点即人工岬角工程主要针对近岸海滩冲刷,通过岬角控制保存侵蚀粗化泥沙,进而对其下覆沉积物起到保护作用。福建的自然岬湾岸线和日本福冈能古岛的人工岬湾岸线就是采用多级节点(岬角)控制的方式,塑造动态平衡的多级嵌套稳定岬湾岸线,以实现海岸防护的目的^[9]。

2.5 海岸防护形式的多样性

我国现行的海岸侵蚀防护工程还是以“硬工程”为主,但已经逐渐由单一的海堤转变为加固海堤和消浪护岸并重的组合防护。近年来,开始采用柔性防护如草皮种植、混凝土模袋护坡等,都取得了良好的防护效果,如福建沿海主要是修筑海堤和种植防护林,绝大多数风成沙地类型的砂质海岸后滨沙丘大都有防风沙植被,沙堤海岸也大都具有木麻黄固定沙丘。限于技术经济等原因,像江苏沿海的护滩工程多以短、矮、密为特点,防护功能局限在堤前较小范围内,离岸堤外滩面下蚀和水下岸坡的蚀退依然发展,随着时间的推移,侵蚀

对近岸护滩工程和现有海堤仍存在潜在威胁。

尽管我国在侵蚀海岸防护方面开展了不少研究与实践工作,相比发达国家来说,在海岸防护的同时兼顾海岸生态与环境保护方面还有不少差距。采用适当的方式通过自然过程塑造稳定海岸线,这已是一种趋势,人工养滩和人工岬湾防护技术在国外已经得到了非常广泛的应用,并且也取得了相当良好的效果。美国人工育滩与护岸建筑在海岸侵蚀防护中运用的比例达到 4 : 1 以上,在欧洲、日本等发达国家人工育滩的实践也在迅速增加。近岸补沙在海滩侵蚀防治上与海滩补沙、沙丘补沙等方法相比更具有主动性,目前荷兰近岸补沙的补沙量和占人工育滩工程的比例都在增长^[10]。

我国海岸防护可根据具体海岸的侵蚀情况考虑尝试使用人工养滩、人工岬湾与丁坝群、离岸堤相结合的防护措施,在原有刚性防护的基础上结合使用柔性防护技术。在实施海岸工程项目时,要避免不合理的工程布置导致泥沙运动的不平衡,加剧海岸的不稳定性。对于一些由于泥沙来源阻断而遭受侵蚀的沙质海滩,国际上多采用人工养滩加潜堤防护的形式,即形成所谓的栖息海滩(perched beach),注重这类海岸防护形式的研究,对我国沙质海滩旅游资源的恢复具有相当重要的意义。

要重视红树林等生物对海岸防护的重要性,因开发利用不得不占用的应采取就地补偿等措施。

3 海洋开发与海岸工程建设

3.1 海岸工程深水和离岸趋势及其挑战

3.1.1 海岸防护工程前沿水深将越来越大

目前,沿海各地围填海需求迫切,使得沿海防护工程,特别是海堤工程不断地外移,海岸防护工程前沿水深将越来越大,基础条件和动力条件也将更加复杂。海岸工程的建设提高了这些防护工程的建设标准,但也导致工程建设风险增大和海岸防护工程建设标准不连续等问题。

3.1.2 跨海桥隧工程建设将成为热点

舟山群岛开发、胶东湾和港珠澳大桥等工程开启了我国跨海桥隧建设高潮。今后更多的跨海桥隧工程将在海峡和岛屿之间建设。琼州海峡是我国三大海峡之一,位于广东雷州半岛和海南岛之间,长约 80 km,宽 20~40 km,平均水深约 44 m,最大深度 120 m,拟建的琼州海峡跨海桥梁工程将面临水深、风大、浪高、地质构造复杂、通航要求高、环境敏感等不利因素,且桥梁线位必须绕避国家级自然保护区的珊瑚礁,桥梁选址和建桥技术难度都相当大。

3.1.3 深水港需求持续

为适应国际船舶大型化的发展趋势,国内、外大型港口都在进行航道深水化的研究和建设^[11]。如:韩国釜山港航道水深 18 m 以上;荷兰鹿特丹港航道水深 25 m;美国西雅图港航道水深 20 m;新加坡港航道水深 20 m;美国长滩港航道水深 18.3 m。预计今后数年内,我国还将建设为数可观的 20~30 万吨乃至 50 万吨级泊位的码头和航道。例如:广东茂名港已启动 30 万吨级博贺新港区建设,阳江港西岸临港新区可建 30 万吨级航道;钦州港、防城港正在开挖 30 万吨级航道;天津港正在建设 30 万吨级航道;日照港也将建设 30 万吨级原油码头;青岛港与巴西原料供应商合作,正在规划建设 4 个 40 万吨级码头,30~40 万吨级航道也将应运而生;连云港、洋口港正在建设 30 万吨级航道;宁波-舟山港虾峙门口外航道水深已达 22 m,30 万吨级船舶可满载进出该港;大连港现也可以进出 30 万吨级船舶;长江口 12.5 m 深水航道上延到南京也将于 2015 年底竣工,将大力推动江海联运。此外,在建港条件较差的淤泥质海岸建设深水大港,尤其是利用淤泥质海岸外的潮汐水道建港,是建港科学和工程技术的一大进展。

3.1.4 海上人工养殖进一步向深水发展

我国未来一段时期内会沿着“近海养殖”和“外海养殖”两条途径同时发展。“近海养殖”将主要以改善养殖条件,优化提升技术装备水平,实现健康养殖为主要任务;“外海养殖”将重点突破新型养殖装备研发,提升配套养殖管理技术水平和技术装备,以开发拓展外海养殖空间,提高水产品产量。开展开放性海域养殖设施安全构建与系统配套装备技术探讨是养殖业向外海发展的基础。重点研究海上养殖平台构建与系统装备技术,海上废弃海洋工程结构渔业利用模式和海上游弋式养殖装备技术;建立开放性海域养殖设施安全规范和标准化技术;研究海洋增养殖渔场环境保护、渔场建造与防护工程等技术,推进我国海洋牧场建设;研究深水养殖结构抗风、浪、流关键技术,优化筏式养殖工程设施材料,研究筏架布局与养殖海域环境的相互关

系;研究设置礁的类型、形状、位置等,诱导聚群性鱼类形成密集的群体。

3.1.5 海岸工程环境将更为复杂

目前,自然环境条件相对良好的岸线已基本全部开发利用,随着海岸工程向水深处发展,限于对动力要素的了解,海岸工程的可靠性越来越不确定。我国海岸工程建筑物结构型式比较单一,对于适合深水 and 恶劣自然条件下的新型结构型式还需进一步研究。此外,海岸工程的建筑寿命普遍较低,在结构耐久性研究中还需进行大量的基础性工作;施工技术与国际前沿的差距主要体现在拼装技术、疏浚技术和环保技术上;施工设备与国际前沿的差距也主要体现在深水施工能力上。先进施工技术的研究和大型施工装备的研制是提高我国海岸工程建设能力和效率的前提保证。

3.2 极端条件下海岸工程结构安全

3.2.1 极端条件变化是海岸工程结构安全永久的问题

近十年来,全球气候变化问题成为科技界最热门的话题之一。讨论或可分为三个不同阶段。开始是认为全球气候正在变暖,文献[12]指出:“研究成果表明,未来 50~100 年全球气候将继续向变暖的方向发展”。然而国际上就全球是否变暖争议颇多,不同的依据支持不同的观点,而且还有人将这一严格的科学课题使其政治化,作为发达国家限制发展中国家发展的一种手段。后来采用一种较为婉转的说法,即气候变化。然而要证明气候是否有某种特定的变化趋势,应有相当长的、无争议实测数据来证明,仅仅采用某种模式来推演,尚不能算是严谨。其实一些自然现象,如潮汐等就有其自身的变化周期。针对自然灾害频发,目前较为科学的一种讲法是极端气象条件的影响。这应该是一古老的课题,而不是近年科学技术的新发现。

极端气象条件发生具有显著的不确定性,而气候变化以及海平面上升等则具有明显的趋势性,因而极端气象条件更具有危害性。2011 年 3 月 11 日在日本西太平洋国际海域发生了里氏 9.0 级地震,据统计,自有记录以来,此次的 9.0 级地震在全世界已发生的地震中排第三。根据后续调查,此次地震引起的海啸最高达到 24 m,核泄漏等级为 7 级,属于最高级。可以肯定各国对于核电站灾害防御的标准是海岸工程中最高的,尤其是日本这样地震高发地区更是重中之重,然而这个标准也没能抵御这次海啸的破坏。

3.2.2 极端条件的不确定性对沿海建设的挑战

无论我们的设计标准取多少年一遇,与通常状态相比都可以认为是极端气象条件。1 000 年一遇不是要到 1 000 年才会发生,或许明天就会发生,只是概率较小而已。极端气象条件的不确定性给海岸工程带来巨大的挑战。随着沿海经济的发展,极端气象条件引起的灾害将更加严重。

3.2.3 海岸工程结构的可靠性(度)设计

海岸工程结构的可靠性(度)设计是今后一大重点。问题是我们对海岸动力条件的变化(包括现场资料)究竟知道多少?这些变化对极端气象条件的确定有怎样的影响?一个工程究竟要抵御什么样的极端气象条件,是逐级抵御还是仅在最前沿一级抵御?如果超设计标准的极端条件发生及其危害究竟有多大,能否预报(估)?有什么减灾方案?尤其是对在役多年的海岸工程建筑物安全性能的了解更为重要,象日本福岛核电站维护那样的“侥幸”心理如何避免?

过去的十多年是我国海岸工程发展最为快速、最为集中的时期之一。从建国以来不同时期海岸工程建设的经验和教训看,虽然这一时期的建设标准和技术水平比 20 世纪 50 年代和 70 年代要高很多,但是可以预见在今后一段时间内,海岸工程结构的除险加固将集中地提到海岸工程管理者的议事日程上来。

3.3 岛礁工程开发技术

3.3.1 岛礁开发利用应是围填海工程的优先发展方向

日本不惜投入巨资在远离国土 1 000 多公里的冲之礁进行人工筑岛,其精神值得我国思考。

我国社会经济发展尚处于并将还要在一定时间内处于重化工和城市化发展时期,对建设用地仍将保持较高的需求。根据今后一段时期港口、临港工业发展形势和建设用地占补平衡的需要,未来海岸陆域形成工程、工业围海造地工程、农业围垦工程仍将保持一定的规模;石油开采由陆向滩海发展,海油陆采平台因其经济优势在滨海油田将持续发展;滨海城市、旅游的发展和建设用地日益紧张。围填海工程将呈现上升趋势;随着建设技术的提高和城市大型化、工业区大型化、农业现代化、用海集约化,为降低单位围海造地难度和成本,单位围海工程规模或会得到限制,但诸多“花整为零”工程的集合,数十、上百乃至数百平方公里的围海工程或将越来越多。

迄今为止的海岸开发及其工程大都是根据沿海建设的需要从陆地或以陆地为基础向海向扩展的,这既是受自然和经济条件的限制,也与我国长期以来对海洋权益重视不够有关。当我们正在内海渤海沿岸进行大规模围填海工程时,南海以及东海的一些岛屿正在被其他国家侵占或蚕食。从国家长久利益出发,岛礁开发利用应是我国今后一段时间围填海工程的优先主题。

政府应从国家长久之计考虑,制定宽松积极的激励政策。海岛开发需要有与之相适应的规划,在技术层次上要有规程(范)或者指导书。

3.3.2 人工岛是海岸开发利用的重要形式

人工岛式围填海是目前国际发展趋势,虽然会增加围填海成本,但是具有十分明显的环境和生态优势。正基于此,日本围填海已很少自岸线向外延伸、平推,而是通常建成人工岛。神户的港岛和六甲岛、东京湾内的扇岛、长崎市的香烧岛、大阪市的钢铁净岛等,都是十分知名的人工岛。为适应沿海港口深水化需要,在近岸水深不足的地区,依托岛屿围海和海上人工岛形式的海港陆域形成工程将逐渐增多。海上人工岛具有岛屿的特征和景观,同时避免了依托陆地的围海造地工程对海洋环境的显著影响,将对海洋环境的影响降至最低,属于环境友好型设施,因而具有良好的应用前景。大连、唐山、葫芦岛、天津、福建、海南等地已开始实施较大规模的海上人工岛建设。

3.3.3 岛礁海岸工程的特殊性

岛礁多兀立于大陆架和大陆坡,周边海底地形陡,变化大,有的地方水深甚至达百米、千米以上,而岛礁的高程仅数米,直接受深水海洋动力的影响,海岸工程建设难度较大;海域受不同季节风吹流和常年海流影响显著,流场模拟及预测具有一定难度;波浪由大水深直接传至水深 1~2 m 的礁坪,对于波浪传播的模拟和破波特性认识均面临新的课题;岛礁上部物质松散,生物碎屑密度较大,但颗粒孔隙密布,湿容重小,在风、浪、流影响下,活动性极强,其施工技术有待研究;受台风大浪影响频繁,远离大陆,岛礁面积小,缺乏淡水和砂石料,现场施工条件恶劣,且礁坪水浅,外部物资运输困难,工程造价数倍于其他类似工程。

3.4 亲水工程

3.4.1 亲水工程越来越受到重视

我国重要海岸工程已充分认识到亲水工程的重要性,甚至像核电厂这样重要的能源设施也在要考虑亲水需要,并作为工程设计考虑的重要因素之一。在海岸防护工程建设中,有些城市为了保持其独特的海岸风景,宁肯降低海堤建设高程标准,也要保持沿海的亲水性。我国沿海已建立一系列的经济开发区,沿海城市的增加,特别是沿海城镇化的建设将催生建设更多的亲水工程。

3.4.2 游艇业前景广阔

游艇业作为重要的海岸休闲业之一,我国在今后数年内将有较快的发展。近年世界范围内海上游艇业呈稳步上升的发展趋势,增速每年为 6%~7%。美国在经历了 20 世纪 80 年代短暂的低迷状态后,90 年代至今游艇市场又进入了蓬勃发展的时期,注册和使用的游艇数量基本上维持在 1 700 多万艘的水平。2008 年美国游艇消费人数达 7 000 万,占全国总人口的 1/4。挪威、新西兰等国家人均拥有游艇比例高达 8 : 1,美国为 14 : 1。意大利 8 000 公里海岸线和内湖岛屿上分布大小 84 万个游艇泊位。法国约有爱好者 900 万人,2003 年拥有游艇 90 多万艘,分布在大小 374 个港口和码头共有 16 余万个泊位。

亚洲游艇业在 20 世纪 70 年代逐步发展,主要集中在日本、韩国、新加坡以及我国香港、台湾地区。日本台风大,濑户内海、名古屋、东京附近和九州西岸的多岛海域是游艇的主要集中地,目前拥有约 40 万艘游艇。香港星罗棋布的 235 个岛屿及众多海湾,目前有游艇、帆船逾 2 万艘。

2007 年大陆具有游艇 1 100 艘,其中上海、青岛、深圳三市占 40%。广东 2012 年已建游艇泊位 500 多个,据估计如在建的 5 个游艇会所都建成,近几年新增泊位将到 1 800 个。显然,我国游艇业的发展有非常大的空间。游艇业的发展离不开航道水域、港口码头、游艇俱乐部、景观水系等基础设施的配套建设。目前我国在这些方面还存在很多障碍,在一定程度上阻碍了游艇业的发展。我们可以通过多种方式,有计划有步骤地建设一批国际水平的配套设施,满足游艇消费的需求,同时要注重资源的可持续利用,防治污染环境;保障停泊水域或者停泊点的游艇的安全;向游艇提供航行所需的气象、水文情况和海事管理机构发布的航行通(警)告等信息服务。

3.4.3 渔港工程是沿海城镇化的重要组成部分

2011 年国务院发布《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》,明确把渔港作为新农村建设重点工程,提出“改扩建或新建一批沿海中心渔港、一级渔港、二级渔港、避风锚地和内陆重点渔港”。未来渔港建设的发展趋势将更加注重渔港功能多样化、渔港村镇一体化、生态环保、防灾减灾体系建设等。渔港设施要控制污染,使渔港水域保持海洋生物生存的良好状态,要设计能满足水流交换的新材料、新结构,尽量减少和避免对生态环境的破坏,注重对港区海洋水域生态环境的修复,降低其维护费用,延长渔港的使用寿命。要充分利用沿岸区域,建设和改造具有海水交换功能的防护工程以及水产动植物生息、繁殖的具有藻场功能的水工建筑物,以缓解对海洋自然环境的影响。研究采取各种生物、工程和技术措施,对已遭到破坏的水域生态进行修复,重建水域生态平衡^[13]。渔港与浅海养殖结合,研究沿岸渔场环境的修复与保护、利用潮汐、海流、波浪等自然能源来实现增养殖渔场的水质交换工程技术措施等。

3.4.4 亲水工程建设标准和结构多样性

亲水海岸工程需要解决二个主要问题:一是建设标准;二是多样性。亲水工程如游艇工程、海上养殖工程、渔港工程等的设计目前都没有各自的标准,一般参照港口航道设计规范。如何在不降低设计标准又能满足工程景观和亲水要求,这正是需要研究的。如核电工程,对不同等级的建筑物按其等级防御不同风浪标准进行设计,值得其他大中型海岸工程参考。东南亚一些国家利用红树林资源开发海岸旅游业,由于红树林能遮掩强烈海洋动力的作用,使得防护工程具有良好的亲水性及与环境的和谐性。

目前我国海岸工程亲水的结构形式还比较单一,给结构工程师和建筑设计师留有更多的发展空间。3D 打印技术在亲水工程方面的应用可能是海岸工程使用这一技术的最早尝试。

3.5 海洋能技术利用和谨慎开发

3.5.1 海洋能开发前景看好

在当前大力发展新能源的背景下,海洋能开发技术将会得到前所未有的发展。如:英国、加拿大、俄国、韩国将建成 100~1 000 kW 级的潮汐电站;美国、日本、印度尼西亚、印度将建 10 万 kW 级的温差电站;英国、挪威、日本将建万千瓦级的波力电站和潮流电站。我国也将建设海岛多能互补独立供电系统(100 kW 级)、100 kW 级的波浪能和潮流能实用化电站、万千瓦级潮汐电站,到 2020 年前我国海洋能开发的总装机容量有望达到或超过 20 万 kW。

从总体上看,我国海洋能开发利用尚处于初级阶段,技术不成熟,无法和常规能源竞争。目前我国对海洋能的开发利用还主要局限在渔业和油气资源开发上,与我国海洋能源状况及经济社会可持续发展对能源的需求不相适应。2007 年《可再生能源法》的颁布实施,为我国海洋能等可再生能源的开发利用奠定了良好的法律基础,使我国海洋能开发迎来了重要的战略机遇期。

3.5.2 潮汐能工程

潮汐能开发的一个明显趋势是向巨型化发展,各国已完成技术经济论证,几个著名站址装机容量都在 100 万 kW 以上。当前潮汐发电技术研究的重点问题各国的分歧并不大,或者基本形成共识,多数是倾向单库开发,单向运行。而水轮机组则主张不要太追求效率高、结构复杂的机组,因为以高投资换取高效率在经济上并不合算。当前影响众多电站开工的主要不是技术问题,而是投资效益和生态环境问题。

我国在 20 世纪 70 年代前曾是国际上拥有最多的潮汐发电站的国家。国家《可再生能源中长期发展规划》提出了积极推进海洋能的开发利用,到 2020 年建成潮汐电站 100 MW 的目标,但是没有提到具体方案。联系到我国目前多个大型潮汐电站(福建大官坂、八尺门和浙江健跳港、黄墩港、杭州湾和乐清湾以及长江口北支^[14]等)项目长期处于规划设计或讨论阶段,可以看出,国家希望发展对潮汐能的利用,但对水库式潮汐电站的经济性以及可能带来的环境影响问题也很慎重。

潮汐发电技术是土木、水利、机械、材料、发电、输电、可靠性等技术的集成,一次性投资大,与常规能源利用相比经济性不好。借鉴国内外潮汐发电的经验和教训,我国大规模开发潮汐电站应遵循积极规划、谨慎开发、技术进步、降低成本、适度扶持、逐步形成规模的原则。

3.5.3 波浪能电站

目前开展波浪能利用研究的有英国、日本、挪威、中国、丹麦、美国、西班牙、葡萄牙等 20 多个国家,其中又以英、日、挪等国对波浪发电的研究最为踊跃,极有可能在今后 10 年内达到目前风能的经济技术水平。我

国波浪发电虽起步较晚,但在国家科技攻关、“863”计划等支持下,取得了较快的发展和较大的进步。微型波力发电技术已经成熟,并已商品化。小型岸式波力发电技术已进入世界先进行列,与国际领先水平的差距不大。但在波浪能发电规模方面,世界上已从 10^2 kW、 10^3 kW 级发展到 10^4 kW 级的应用,而我国目前仍停留在 10 kW、 10^2 kW 级的水平上,至 2020 年的远景目标也只是发展到 $10^2 \sim 10^3$ kW 级的波力电站,波浪能开发的规模远小于挪威、英国等。

波浪能发电的前沿技术主要有:1)将分散的、低密度的、不稳定的波浪能吸收起来,集中、经济、高效地转化为有用的电能,承受海洋灾害性气候的破坏,实现安全运行;2)大部分波能装置从波能到电能的总转换效率只有 10%~30%,且投资巨大,因此,研究的关键问题是提高转换效率和降低成本;3)防腐技术和防生物附着技术;4)抗浪技术,如合理的转换装置设计、锚泊系统设计及下潜避浪技术;5)综合利用,如波浪能与风能、太阳能与海洋热能的综合利用,英国建成的波力发电装置,顶部同时安装了的风力发电机;日本建成的多用途波能发电装置“巨鲸”,还安装了太阳能发电机。

3.5.4 海流能装置

20 世纪 90 年代以前,国外潮流发电技术研究不像潮汐、波浪发电技术那样活跃,只在英国等较少几个国家进行。90 年代中后期,开展潮流能利用的国家逐渐增多。当前潮流发电技术发展趋势是在小容量示范装置试验成功的基础上,向大型化发展,以降低装置的单位装机容量造价。有人论证后认为,只有当装机容量达 500 kW 以上时才可能获得商业性收益。加大转换装置的装机容量有两个途径:一是加大单机装机容量;二是由潮流发电单体装置组成类似“风力田”的电站群系统。英国 MCT 公司计划单机经过 700~800 kW 的过渡后,向 3~5 MW 目标迈进,英国爱丁堡大学已提出了 10 MW 的开发方案。

3.5.5 海岸风能利用

要正面回答海岸沿线风能装置大范围的建立对沿海生态是否有影响。

4 海岸管理与数字海岸

4.1 海岸开发存在的主要问题

据有关分析,1990~2008 年,我国围填海总面积从 8 241 km²增至 13 380 km²,平均每年新增围填海面积 285 km²。围海造地是人类向海洋拓展生存空间和生产空间的一种重要手段,然而,围填海也带来了一些生态环境问题,主要有:1)改变岸线、海底的形态,影响自然条件下的动力场与泥沙运动规律,在某种情况下会造成局部持续的淤积或冲刷,破坏海岸与海底的自然平衡状态,对海岸带生态系统和航运等产生影响。2)打破生态敏感区、湿地范围内的海岸与海底的自然平衡状态,海洋植物和动物生存环境受到严重影响。3)导致海洋自然性状改变,海洋灾害潜在威胁加大;围海造地造成天然海湾的消失、河口束窄、岸线趋于平直等自然形状特征的改变,自然纳潮空间区域的缩小、滩涂消失,减少甚至消失了波浪消能的空间,加大了潮灾的隐患。虽然近年有些地区的岸线有些增长,但有数据表明,我国的海岸线比新中国成立初期缩短了 1 500 多公里,海湾减少百余个。2011 年初,历时 6 年的中国 908 专项海岛海岸带调查发现,中国海岸线因填海造地正逐年减少。在过去 20 年间共 700 多个小岛消失。4)围海造地可导致潮差变小,潮汐冲刷能力降低,海水自净能力减弱。近 10 年来,我国因围填海失去了近 50%的湿地;2002~2007 年,湿地消失速度从 20 km²/a 增加到 134 km²/a。因此,海岸管理的必要性和迫切性将更加凸显。

4.2 海岸管理国际前沿状况

海岸带立法是世界性的发展趋势。迄今为止,大多数海洋国家和地区都制定了有关海岸带的法律。近年来,荷兰、日本、美国等具有围海造田传统的国家,已经先后出现了海岸侵蚀、土地盐化、物种减少等问题。有的国家开始采取透空式的海上大型浮式建筑物取代围海,有的国家甚至已不允许围海,并开始将围海造田的土地恢复成原来的湿地面貌,探索与水共存的新路。

1972 年美国通过了世界上第一部《海岸带管理法》(CZM),由美国海洋与大气局(NOAA)的海洋和海岸资源管理署(OCRM)在全国范围内实施^[15]。其目标为:1)为了生态功能、文化遗产和经济利益的可持续,保护和修复海岸和海洋资源;2)构建可恢复的海岸群落,维持健康的海洋和海岸;3)提高人们的意识和行动能力,使海岸地区的公众和生态系统受益。为了实现上述目标,国家海岸带管理委员会协助各州进行海岸的综合规划和社团的发展以及其他保护和恢复栖息地、缓解风险、保护水质、海域使用的项目。OCRM 帮助 34 个

州和地区在维持和加强管理能力的同时,提高国家的海岸管理目标,负责海岸和河口土地的保护,保护海岸和河口土地的平衡、再生以及生态、历史和美学价值。

欧洲荷兰的围填海历史早,规模大,技术要求高,是世界上公认的海洋管理和利用最成功的国家之一,占国土面积 20% (约 7 000 km²) 的陆地是通过填海造陆形成。荷兰 1950 年到 1985 年间湿地损失了 55%。湿地的丧失让荷兰在降解污染、调节气候的功能上出现许多环境问题,如近海污染、鸟类减少等。1990 年,荷兰农业部制定《自然政策计划》,要通过 30 年时间恢复这个国家的“自然”。位于荷兰南部西斯海尔德水道两岸的部分堤坝将被推倒,一片围海造田得来的 300 公顷“开拓地”将再次被海水淹没,恢复为可供鸟类栖息的湿地,通过使过去的景观复原,为老百姓的生活增添亮丽的风景线。

日本在过去 100 多年中,共从海洋中索取了 12 万 km² 土地,沿海城市约有三分之一土地都是通过填海获取的。“注重规划控制、防止各自为政”,“注重依法审批,尊重民众权益”是其成功的一大特色。

4.3 我国海岸管理状况

我国在社会经济可持续发展战略和海洋事业发展中均提出了海岸带综合管理的战略思路,将建立海岸带综合管理制度作为海岸带地区社会经济可持续发展的战略方针和指导思想。1997~2000 年,在广东、广西、海南等地进行了海岸带综合管理能力建设,其目的就在于探索建立海岸带综合管理机制、提高合理利用海洋资源和保护海洋环境的综合管理能力。目前,我国对海岸带资源的管理基本上是传统的分工、分类管理,根据自然资源属性及其开发产业,按行业部门进行计划管理。随着海岸带开发利用的不断深入,参与海岸带开发管理的部门日渐增多,仅在海岸带地区范围内,涉海部门就有 20 个左右,如:农业部渔业局具有管理海洋渔业生产的职能;交通部门具有管理港口作业和海上航运的职能;国家旅游局具有管理海洋旅游活动的职能等。不同的部门根据自己的职能,对同一地区往往从不同的目标进行管理,或对同一对象从不同的角度或方法进行控制,再加上有些地区管理分工不同,由此则容易造成部门间的不协调。

近年来,我国海岸带环境质量似有不断恶化的趋势,与海岸带管理法律的缺位以及缺乏有法可依的有效综合管理有着密切联系。目前我国已有的一些海岸和海岸工程管理的法律,虽然不能完全满足我国沿海地区经济发展战略的需要,但最大的问题仍是执法难,违法的成本太低。

4.4 现代海岸管理必须借助于数字海岸的建立

现代化的技术是海岸管理最为有力的支撑,数字海岸将是长远、持续的努力方向,也是提高海岸带管理水平的关键。数字海岸的建立和应用可以全面促进海岸带的管理和开发,并在规划、动态监控、资源开发、海岸侵蚀防护、防灾减灾、工程建设、土地利用、生态环境保护等方面起到辅助研究、辅助开发、辅助管理、辅助决策等作用。这将涉及到不同的部门和技术,如信息技术、模拟技术、管理系统等^[16]。

1) 信息技术

数字海岸的信息包括气象、水文、地震、海向地形、海岸工程结构、保护区环境和社会经济情况等基础数据库。目前一些长期气象水文资料,有陆地卫星、海洋水色卫星、气象卫星和雷达卫星等遥感资料。近几十年来,美国利用遥感资料建立起各类数据库,研究人员可以免费使用数据库的资料,如美国国家航天航空局戈达德航天中心建立的北美土地数据系统(NLDAS:north-american land data assimilation systems)和全球土地数据同化系统(GLDAS:global land data assimilation systems),可以通过数值气象预报模型(NWP)更精确地进行分析和预测模拟。信息系统应通过国内外不同渠道、多种方法、综合手段来丰富基本信息资源,应具有实时性和长期性。

2) 模拟技术

在海岸工程建设中可基于海岸信息,利用模拟技术建立海岸动力模型、结构安全性模型、灾害预测评价模型等。动力模型包括河口径流、潮汐、波浪、台风、风暴潮、泥沙运动等;结构安全包括工程老化、极端条件下结构可靠性等;灾害预测评价模型主要用于工程会否失事以及失事后的损失评估等。

3) 管理系统

海岸带的管理过程包括经常性和突发性的干预,即自然和人为对海岸的影响。在此基础上,研究海岸侵蚀、海岸价值、海岸养护与否、侵蚀控制与否对海岸带利用潜力的影响,以海岸损失最小、防御和恢复成本最小为目标,最终实现对海岸线的有效保护。数字海岸技术在管理中的应用可包括:1) 参与海岸带规划,提高和改善海岸带管理开发的质量和效率;2) 全方位、全天候地动态监控海岸带,及时作出相应的结论和对策;

3)保护和合理开发海岸带资源,提高海岸带资源的利用效率;4)海岸侵蚀防护,包括对海岸侵蚀的实际现状和演进趋势、成因的探讨,使防护对策制定更加科学、高效;5)海岸带防灾减灾,包括海岸灾害的预测、预报,海岸灾害的防范、规避,海岸灾害的抵抗、消除,海岸灾害的灾中救护、灾后恢复和灾后重建等;6)参与海岸带工程的规划、勘察、设计、建设和管理的整个过程;7)参与海岸带生态环境的调查监控、评估分析、综合研究、对策制定、措施落实等;8)促进沿海国防建设。

数字海岸建设的难点在于实际有价值数据的获得,这不是仅靠少数几个部门和单位所能完成的。

5 海岸工程研究

5.1 海岸工程学科总体发展趋势

海岸工程学科也是一门古老学科,通过数百年特别是最近几十年的研究,一些经典的研究办法已基本做到了极致,没有新的研究理论和方法,就很难有新的突破。自然科学是互通的,将其他学科的研究方法和成果应用到本学科往往会取得突破性的进展。国家自然科学基金委员会组织全国专家对海洋科学的过去进行了回顾,对未来 10 年的发展趋势进行了预测,提出今后 10 年海洋科学的 4 大发展趋势:1)多学科交叉、渗透和综合;2)重点研究与资源、环境、气候等和人类生存与发展密切相关的重大问题;3)全球化和国际化;4)采用高新技术,并趋向于全覆盖、立体化、自动化和信息化。

海岸工程是多学科交叉的领域,包括了所有的自然学科。海洋工程科学研究涉及数学、力学、物理学、化学、材料学、电学等不同类型学科。遥感技术成果与海岸演变、海流、泥沙运动等研究已结合得相当紧密;光学、声学的成果促进了水波传播的研究;新材料、新工艺的采用使得深水港建设、大型围填海工程、桥隧工程等有了较大的突破;计算机技术促进了各行各业快速技术进步。

5.2 海岸工程基础学科发展要与现场实验研究紧密结合

欧美很注重现场实验研究,以促进海岸工程基础学科的发展。以防波堤技术为例^[17-18],近 20 多年来,欧美出现过三次防波堤事故的研究热潮,即,1980 年前后葡萄牙锡尼斯防波堤事故后对斜坡堤稳定性的分析;1994 年深水防波堤会议前后对直立堤损坏的分析;20 世纪 90 年代后期结合防波堤可靠度设计方法的改进对防波堤破坏模式的研究。这些研究热潮,大大促进了防波堤技术的发展。

国际发达国家注重将水动力观测与海岸地形影响等结合起来研究,如欧美等国家进行一系列如 DELILAH、DELTA'93、DUCK'94 等现场联合观测,并持续进行了实验室研究,引起学术界的关注,促进了海岸动力学的发展。

我国有不同类型的可将工程与学术研究紧密结合的海岸,也有很多值得从科学研究角度进行深入探讨和总结的工程实例,且有一支庞大的海岸工程技术研究队伍。但我们的现场及实验室研究大多是服务于某一特定工程,尤其是工程的立项和建设,积累了很多的测量资料,却很少开展相应的基础理论和基本方法的研究工作。提高我国在海岸工程学科的国际学术地位,必须要重视海岸工程基础学科发展与现场实验研究及技术的紧密结合。

5.3 数学模型、物理模型及其复合技术的发展

数学模型在我国海岸工程科学研究中将占有更高的比例,但要加强国际品牌数学模型的研发。我国拥有众多从事海岸数学模型研究的科研人员,然而我国并没有拥有象 DELFT3D、MIKE21、SWAN、ANSYS 等类似的国际著名软件。这其中既有传统固有的、封闭不开放的科研机制因素,也有我国科研人员研制的模型大多没有经过较严格的物理模型和现场实验的检验,其验证往往具有明显的地域或类型的局限性,而前述的几个著名软件都是经过前后多年的论证检验后才逐步成型的。此外,我国的模型大多没有自己的理论体系,相当多的程序是基于模仿。

物理模型今后一段时间内还将在海岸工程各阶段科学研究中起到相当重要的作用,甚至是决定性的作用。要加强在相似理论、现场验证资料的可靠性和量测技术水平提高等方面的研究。在采用天然水和重力加速度不变的限制条件下,流体动力模拟物理模型的可选择性很小,离心试验装置的大型化可部分地解决困难,但难以较为准确地解决结构的三维破坏特性。泥沙运动相似理论近年进展不大,有什么新的理论或者是其他学科的理论可以借鉴?没有现场资料的验证就没有现行条件下的物理模型试验,然而用以验证的现场资料可靠性怎样?这些用来验证的大多经过扰动的样品在多大程度上代表现场的实际情况?这些用短期实

测资料验证的结果真的可以被外延来预测未来多年的演变? 还有实验室量测技术水平的提高速度不快已成为试验研究水平提高的制约因素。

物理模型和数学模型结合起来的复合模型将越来越多地在海岸工程中得到应用。物理模型会成为数学模型验证的重要手段,甚至与现场资料起到相同的作用。经过现场实测资料和物理模型试验资料验证的数学模型又可以作为物理模型的继续,进行多方案的试验研究,或提供较为优化的方案供物理模型研究。

5.4 海洋动力-结构-地基相互作用

长期以来,海岸工程中的水动力-结构-地基是相互作用的已成为共识。日本对过去 20 多年混合堤的损坏作了总结,将损坏形态与原因归结为蛇行破坏,基床过高、过宽或过陡引起破碎波冲击波压作用,波浪引起绕堤头或沿堤水流对基床淘刷损坏,堤前海床冲刷或液化,地基承载力不足等。统计分析表明,防浪护岸破坏的主要原因是波浪力超过海墙抗力、越浪及墙前海床冲刷。50%的护岸损坏是由于海床冲刷引起。

海洋动力-结构-地基相互作用研究受研究手段的限制,一直进展缓慢。重大工程要加大“流-固-弹”三位一体的现场观测,这是推动这一方向研究进展的关键。已有一些重大工程进行了这样的监测,但主要是解决工程问题,应紧密结合基本理论加强研究力度。在实验室模拟方面还有很多基础性的问题有待解决,如流体与固体、弹性体模拟时间不匹配;泥沙冲淤与水流时间匹配问题;结构耐久性中时间尺寸确定;流体重力相似与结构弹性相似、强度相似不兼容等问题。地基如何在实验室中模拟一直是该研究方向的瓶颈,这需要寻找新的模拟材料以推动实验室模拟的进展。

6 结 语

通过分析我国海岸动力监测体系、河口海岸侵蚀及防护、海洋开发与海岸工程建设、海岸管理与数字海岸和海岸工程研究等方面存在的问题和国外进展情况,可以期望今后十多年中,海岸工程仍将保持快速的发展趋势,并继续为国民经济发展发挥重要作用。随着综合国力的提升和国内海岸开发技术的相对成熟,我国海岸工程技术向国外输出,将面临更多的国际合作与竞争,这将促使其国际化,进而在一些重要领域处于国际领先行列。我国海岸工程技术水平提高任重而道远,中国海岸工程领域的发展将随着中国经济建设的发展而更加辉煌。

参考文献:

- [1] 左其华, 窦希萍. 中国海岸工程进展[M]. 北京: 海洋出版社, 2014. (ZUO Qihua, DOU Xiping. Progress of china coastal engineering[M]. Beijing: Ocean Press, 2014. (in Chinese))
- [2] 李颖虹, 王凡, 王东晓. 中国科学院近海海洋观测研究网络建设概况与展望[J]. 中国科学院院刊, 2008(3): 274-278. (LI Yinghong, WANG Fan, WANG Dongxiao. The construction network of stations of field observation and investigation of CAS[J]. Journal of CAS, 2008(3): 274-278. (in Chinese))
- [3] 丁士圻, 郭丽华, 秦世军, 等. 一种新型多功能海洋浮标[J]. 海洋工程, 2005, 23(3): 90-93. (DING Shiqin, GUO Lihua, QIN Shijun, et al. Multi-purpose ocean observing buoy[J]. The Ocean Engineering, 2005, 23(3): 90-93. (in Chinese))
- [4] 高家俊, 钱桦, 邱铭达, 等. 碟形浮标观测方向波谱误差分析及修正[J]. 海洋工程, 2003, 21(1): 24-33. (KAO Chiachuen, CHIEN Hwa, CHIOU Mingda, et al. Error analysis of the wave directional spectrum measurement by Disc Buoys[J]. The Ocean Engineering, 2003, 21(1): 24-33. (in Chinese))
- [5] 左其华. 现场波浪观测技术发展和应用[J]. 海洋工程, 2008, 26(2): 124-139. (ZUO Qihua. Advances and applications of ocean wave measurement technology[J]. The Ocean Engineering, 2008, 26(2): 124-139. (in Chinese))
- [6] 杨世伦, 朱骏, 赵庆英. 长江供沙量减少对水下三角洲发育影响的初步研究—近期证据分析和未来趋势估计[J]. 海洋学报, 2003, 25(5): 83-91. (YANG Shilun, ZHU Jun, ZHAO Qingying. A preliminary study on the influence of Changjiang River sediment supply on subaqueous delta--Evidences in late 20th century and an expectation for the coming decades[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2003, 25(5): 83-91. (in Chinese))
- [7] 于德海, 彭建兵, 李滨. 海岸带侵蚀灾害研究进展及思考[J]. 工程地质学报, 2010, 18(6): 867-872. (YU Dehai, PENG Jianbing, LI Bin. Review and reflection on coastal erosion disaster[J]. Journal of Engineering Geology, 2010, 18(6): 867-872. (in Chinese))

- [8] 陈君,王义刚,蔡辉.江苏沿海潮滩剖面特征研究[J].海洋工程,2010,28(4):90-96. (CHEN Jun, WANG Yigang, CAI Hui. Profile characteristics study of the Jiangsu coast[J]. The Ocean Engineering, 2010, 28(4):90-96. (in Chinese))
- [9] 夏军,刘良,杨春艳.苏北侵蚀性海岸整体防护构想[J].水利建设与管理,2008(8):55-56. (XIA Jun, LIU Liang, YANG Chunyan. Protection idea for erosion coast in the north part of Jiangsu Province[J]. Water Resources Development & Management, 2008(8):55-56. (in Chinese))
- [10] 吴建,拾兵.近岸补沙养护海滩研究综述[J].海洋科学,2011,35(8):108-112. (WU Jian, SHI Bing, A review of the shoreface nourishment for beach protection[J]. Marine Sciences, 2011, 35(8):108-112. (in Chinese))
- [11] 张志明.我国沿海深水港口建设技术进展和面临的重大技术问题[J].水运工程,2009(1):195-202. (ZHANG Zhiming. Technical progress of China's coastal deepwater port construction and major technical problems confronted[J]. Port & Waterway Engineering, 2009(1):195-202. (in Chinese))
- [12] Climate change 2013: the physical science basis[C]//IPCC. Cambridge:Cambridge University Press, 2013.
- [13] 谢怀东.福建省诏安宫口湾综合治理与渔港规划[J].海洋工程,2004,22(2):70-74. (XIE Huaidong. Comprehensive regulation and planning of fishing port for Gongkou Estuary in Zhaoan[J]. The Ocean Engineering, 2004, 22(2):70-74. (in Chinese))
- [14] 郭成涛.长江口北支潮汐能源的综合利用[J].海洋工程,1995,13(2):83-91. (GUO Chengtao. A study on combined use of tidal energy of the North Branch of Changjiang Estuary[J]. The Ocean Engineering, 1995, 13(2):83-91. (in Chinese))
- [15] 倪国江,鲍洪彤.美、中海岸带开发与综合管理比较研究[J].中国海洋大学学报:社会科学版,2009(2):13-17. (NI Guojiang, BAO Hongtong. Comparative study on coastal zone development and comprehensive management between USA and China[J]. Journal of Ocean University of China, Social Sciences Edition, 2009(2):13-17. (in Chinese))
- [16] 侯英姿,陈晓玲,李毓湘.基于3S技术的海岸带综合管理研究进展[J].海洋测绘,2005,25(3):24-27. (HOU Yingzi, CHEN Xiaoling, LI Yuxiang, Application of 3S technologies in integrated coastal zone management[J]. Hydrographics Surveying and Charting, 2005, 25(3):24-27. (in Chinese))
- [17] 李炎保,蒋学炼,刘任.防波堤损坏特点与其成因的关系[J].海洋工程,2006,24(2):130-138. (LI Yanbao, JIANG Xuelian, LIU Ren. Discussion on the relationship between characteristics and the reasons of breakwater failures[J]. The Ocean Engineering, 2006, 24(2):130-138. (in Chinese))
- [18] 李炎保,吴永强,蒋学炼.国内外防波堤损坏研究进展评述[J].中国港湾建设,2004(6):53-56. (LI Yanbao, WU Yongqiang, JIANG Xuelian, A review of the development of research on breakwater failures at home and abroad[J]. China Harbour Engineering, 2004(6):53-56. (in Chinese))