

# 向海土木工程的内涵与发展前沿

肖建庄<sup>1,2,3,4\*</sup>, 李文明<sup>2</sup>, 胡亚安<sup>4,5</sup>, 杨海峰<sup>1,3</sup>, 谢立全<sup>2</sup>, 夏冰<sup>2</sup>, 罗丹旒<sup>1</sup>

1. 广西大学土木建筑工程学院, 南宁 530004

2. 同济大学土木工程学院, 上海 200092

3. 广西大学双碳科学与技术研究院, 南宁 530004

4. 广西现代运河实验室, 南宁 530029

5. 南京水利科学研究院, 南京 210029

\* 联系人, E-mail: jzxiao@gxu.edu.cn, jzx@tongji.edu.cn

2024-11-17 收稿, 2025-04-01 修回, 2025-04-02 接受, 2025-04-03 网络版发表

中国工程院战略研究与咨询项目地方院重大项目(2024-DFZD-60)、国家重点研发计划(2022YFC3803400)和广西科技重大专项(桂科AA23062022, 桂科AA23062054)资助

**摘要** 推进我国海洋强国、交通强国以及绿色低碳发展战略, 需要加快构建以多学科交叉为特色的新型土木工程体系, 以服务向海经济和新质生产力发展需求. 基于由陆向海基础设施的特点, 本文提出了向海土木工程的概念, 剖析了向海土木工程的内涵及其技术支撑. 从经济社会发展需求出发, 分析了向海土木工程相关科学研究进展, 总结了向海土木工程发展中的基本难题与挑战; 基于未来开放型经济发展和向海图强的重大需求, 提出了向海土木工程建设的 basic 架构, 展望了向海土木工程未来需要关注的重要科学问题. 向海土木工程应以低碳材料、长寿命结构、绿色建造和智慧防灾为主要研究方向, 通过构建多层次、多尺度、多功能的向海土木工程理论与技术体系, 助力实现我国高质量可持续发展.

**关键词** 向海土木工程, 低碳材料, 长寿命结构, 绿色建造, 智慧防灾

进入新时期, 我国经济发展模式从外向型经济发展模式转向开放型经济发展模式, 向海经济成为开放型经济的重要组成部分. 依托土木工程基础设施的服务功能, 建设和完善由内陆向海的基建设施是发展向海经济、建设海洋强国的基础性工程, 也是土木工程领域新的发展方向. 向海经济是一种涵盖陆域和海域经济的发展模式, 通过由陆及海、以海带陆、强陆促海以及陆海统筹的方式, 实现陆海联动的开放型经济体系<sup>[1,2]</sup>. 向海经济与向海型土木工程之间存在着紧密的联系, 主要体现在基础设施建设、产业支撑以及区域协同发展等方面. 以服务向海经济的土木工程推动向海经济高质量发展和高效率提升, 同时向海经济的发展也反向完善向海型土木工程体系. 两者在促进经

济结构优化升级、强化科技创新支撑、维护国家主权安全、拓展国际合作空间、提高资源配置效率等方面发挥重要作用, 共同助力向海图强战略的实现.

我国拥有18000公里大陆海岸线、11000多个海岛、14000公里海岛岸线、300多万平方公里蓝色国土. 同时, 我国是航运大国、造船大国, 截至2023年8月, 我国拥有的船队规模达到2.492亿吨, 拥有发展向海经济的基础优势. 图1总结了2016~2023年我国综合交通领域发展规划. 可以看出, 我国建立了完整的综合交通领域重要纲领性文件体系, 成为助力建设海洋强国、推动海洋经济快速发展的保障. 依据国家统计局和交通运输部数据, 2024年, 我国进出口贸易额约41.76万亿元, 其中约90%的国际贸易货物量是通过海运完成. 图2统

引用格式: 肖建庄, 李文明, 胡亚安, 等. 向海土木工程的内涵与发展前沿. 科学通报, 2025, 70: 2998-3008

Xiao J, Li W, Hu Y, et al. Connotation and forefront development of ocean-oriented civil engineering (in Chinese). Chin Sci Bull, 2025, 70: 2998-3008, doi: 10.1360/TB-2024-1230



图 1 (网络版彩色)2016~2023年我国综合交通领域发展规划  
Figure 1 (Color online) Guidelines for the comprehensive transport field of China from 2016 to 2023

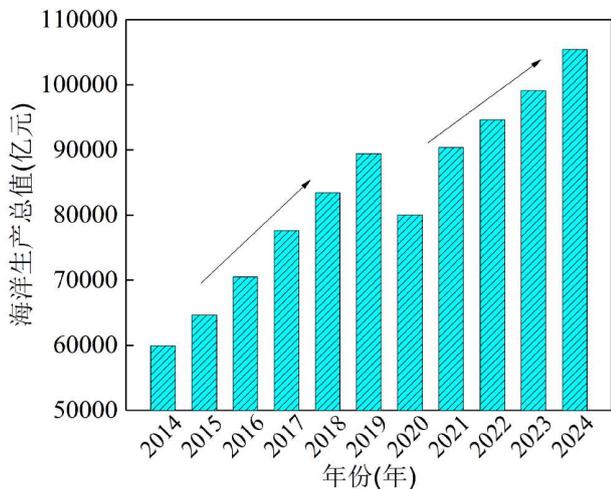


图 2 (网络版彩色)2014~2024年我国海洋生产总值  
Figure 2 (Color online) Gross ocean product of China from 2014 to 2024

计了2014~2024年全国海洋生产总值，除2020年受疫情影响海洋生产总值略有下降外，基本呈稳步增长趋势，向海经济已经成为我国开放型经济发展的新引擎。建设与完善土木工程基础设施成为践行“海洋强国”战略和“21世纪海上丝绸之路”愿景的关键所在。

目前基于多场景单体土木工程建设和研究成果较多<sup>[3-8]</sup>，已有研究主要围绕结构的耐久性与耐腐蚀性能、防灾减灾、材料选择、地质构造以及复杂条件下性能调控问题进行了深入探讨。但面向国家大力推进

开放型经济、绿色建造体系的发展要求，仅仅依靠单一结构设计或区域化基建协调，难以解决由陆向海土木工程的系统运行问题。建成智能、绿色、低碳的土木工程“新基建”，实现土木工程由陆地向海洋的系统化、智能化、低碳建设与运维，需要明确工程建设面临的理论与技术难题，从底层考虑向海型土木工程的发展需求。

立足我国海洋强国、交通强国战略及绿色低碳发展目标，本文提出了向海土木工程的概念，剖析向海土木工程的内涵及其技术支撑；分析向海土木工程相关科学研究进展，并凝练基本科学问题；基于未来开放型经济发展和向海图强的重大需求，搭建向海土木工程建设的基本架构，并展望向海土木工程未来需要关注的重要科学问题。

## 1 向海土木工程的内涵与技术积累

### 1.1 向海土木工程的内涵

向海土木工程是指人类为开展由陆向海活动而建设的各类新兴基础设施及其设施群，涵盖由陆向海发展所需的新型材料、结构体系及设计建造。向海土木工程集土木工程、交通工程和海洋工程等于一体，具有综合性、基础性和交叉性的特点，代表着技术创新活跃且充满挑战的一类新质生产力。与传统的“海洋土木工程”和“近海工程”相比，向海土木工程体系具有由

内陆向海洋渐变的特质，其工程建设环境和材料选择与工程区位密切相关且复杂多变。向海土木工程概念的提出，源于对向海经济发展的需求和海洋资源开发利用的深刻认识，同时也是拓展传统土木工程学科的需要。这一概念旨在采用土木工程先进的设计理念和技术手段支撑向海经济发展的基础设施体系，使其适应复杂多变的服役环境。目前国内外已建成了与本文提出的向海土木工程类似的工程，例如跨海大桥工程、海底隧道工程、漂浮结构工程、现代运河建设工程、岛礁建设工程、现代水运枢纽、海上风电工程、大型钻井平台、养殖工船和海洋牧场等，如图3所示。

### 1.2 相关技术积淀

随着土木工程建设由内陆转向海洋，向海土木工程有关研究也在逐步深化。经过多年的发展，向海土木工程相关工程材料的选择与应用、复杂多变环境影响、结构与施工技术、环境保护与可持续发展方面取得了不少进步。在材料方面，开发了高强度、高韧性、抗疲劳的耐腐蚀钢材，高密实度、高抗渗性和高抗裂性的混凝土，以及轻质高强和耐腐蚀纤维增强复合材料(FRP)；在环境影响方面，进行了差异化工程区位环境影响(陆地、沿江、沿海、近海及深海)、生物侵蚀以及潮汐活动、日照、动力水流、风浪等物理侵害等因素下工程耐久性能研究；在结构与施工技术方面，建立了考虑干湿循环的近水结构抗渗设计理论、考虑海水上溯的临海工程施工技术与耐久性设计

方法，提出了考虑周期性荷载的近海重力式结构以及考虑动态荷载的深海漂浮结构与透空式结构；在环境保护方面，强调工程的可持续发展及零污染等实施措施。同时建立了考虑结构安全与性能的分类论证与检验体系，助力向海土木工程长期安全服役。此外，在向海土木工程各因素影响规律研究方面积累了丰富的成果，包括：短期强作用(地震、台风、波浪、海啸、船撞、爆炸等)、长期作用(水流冲击、海水侵蚀、泥沙运移、水压变化、岸滩演变)、水环境(生物附着、温度、腐蚀等)和循环交替因素(潮汐海水上溯、干湿冻融循环、其他周期性作用)等。然而，有关研究仍需深化，以满足向海土木工程新的需要。

依据“双碳”目标的要求和低碳发展的考量<sup>[9]</sup>，向海土木工程建设全过程要推行低碳设计、低碳施工、低碳运维以及可持续的新型建造理念，追求设计与建造阶段的资源投入减量化、资源利用高效化、废弃物排放最小化、安全舒适一体化，最终实现向海土木工程绿色、低碳、高质量的建造目标。

## 2 向海土木工程的前沿发展

### 2.1 向海土木工程相关发展现状

向海土木工程相关建设随向海经济的发展不断取得突破。跨海桥梁、隧道等交通运输工程布局不断优化，推动了公铁联运向公铁水联运转变，使交通运输更加绿色、便捷；现代港口工程建设不断创新，经济影响

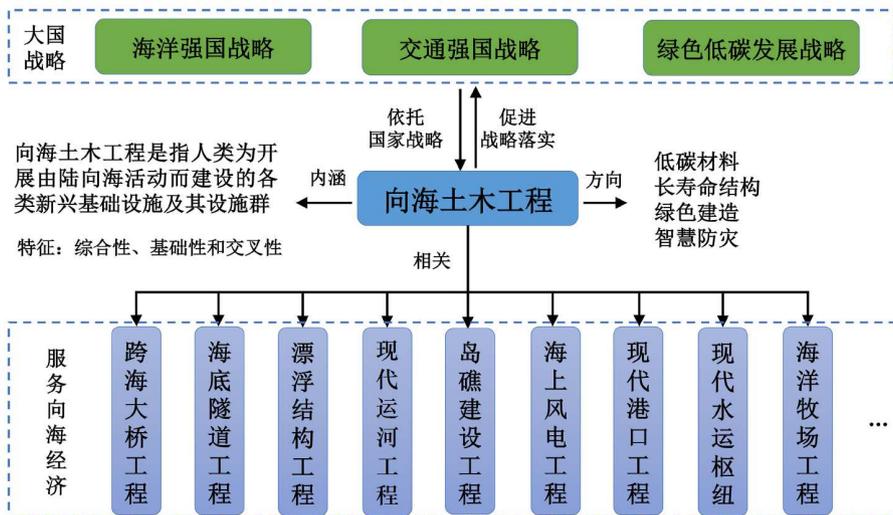


图3 (网络版彩色)向海土木工程的内涵  
Figure 3 (Color online) Connotation of ocean-oriented civil engineering

辐射范围不断拓展;现代运河建设引入绿色的理念,推动了运河工程绿色低碳化建造;海洋风电场建设加大技术创新,优化了绿色能源在能源结构的占比;岛礁生态建设不断推进。依据《2023中国海洋工程年报》数据,2023年我国新增海洋工程数量达到1038项,同比增长49.78%,呈现生态优先、绿色低碳、节约集约的高质量发展态势。这里以向海土木工程相关工程——跨海交通工程、现代运河工程、岛礁工程和海上风电工程为例,简要介绍向海土木工程的发展。

(1) 跨海交通工程。跨海交通工程是指在陆地与海洋交界区域以方便两岸人流和货物往来的工程建设项目,这类工程往往需要特殊的设计和施工技术,以适应复杂的海洋环境和地质条件,如跨海大桥、海底隧道、漂浮结构等。随着科学技术、经济水平的提升,越来越多的跨海交通工程得到兴建。同时,针对复杂条件下跨海工程的科学研究也引起了重视,并开展了多因素影响下材料性能和结构响应分析<sup>[10-14]</sup>,分析了风浪联合作用、地震作用、随机荷载等影响下结构动力响应及非线性,探究了智能化建造技术在陆海工程建设的应用。表1列出了世界长度排名前十的跨海大桥,可以看出跨海桥梁结构组成多变且功能复杂。依靠浮筒浮力抵消部分自重荷载的新型浮桥在建设可行性、施工难度和通航能力上也具有优势<sup>[6,15-17]</sup>,如美国华盛顿湖交通大桥拟采用由20个刚性连接的箱室模块组成的浮桥方案<sup>[15]</sup>,挪威利用导管架技术结合混凝土浮筒建成了一座钢管桁架浮桥<sup>[16]</sup>,日本大阪港建成了横跨两个填海岛屿的可摆动浮桥,以方便大型船只通航<sup>[17]</sup>。

(2) 现代运河工程。运河作为沟通多条水系的人工河道,在国家社会、经济等领域发挥了重要作用。运河

的开通带动了沿岸城市的繁荣,促进了内陆型经济转变为向海型经济。京杭大运河已实现了近百年来首次全线通航,加速了内陆地区构建向海型经济发展格局。正在建设的平陆运河作为西部陆海新通道的骨干工程<sup>[18,19]</sup>,将成为广西内陆及我国东南、西北地区运距最短、最经济、最便捷的出海通道。待建的湘桂运河是国家“四纵四横两网”高等级航道中汉-湘-桂通道的关键控制性工程,有助于强化内陆与粤港澳大湾区、北部湾经济区、东盟等区域的交通和经济合作,进一步提升区域交通的便利化,更好地促进交通强国战略的实现<sup>[6]</sup>。依据中国航运发展报告2023数据,我国内河港口外贸货物吞吐量仅占全国港口外贸吞吐量的10%左右,建设现代运河工程服务向海经济意义重大。运河工程技术的发展聚焦于新材料的研发、智能建造技术的应用以及绿色能源的集成。通过持续的技术创新,推动运河工程向更加高效、低碳和可持续发展的方向发展<sup>[7,20]</sup>。现代运河的研究主要集中于运河工程安全与低碳协同设计、绿色低碳建造技术应用、数字化与智能化管理、生态保护与江海联运等多个方面<sup>[21,22]</sup>。推进现代运河绿色化、智能化建设,需加快运河建造材料超长耐久性与结构稳定性研究,并开展复杂条件下运河新型建造施工与智慧运维的相关探索。

(3) 岛礁工程。岛礁工程建设是近年来解决远海岛屿管理与国土防卫而兴起的基础设施。从2013年起,中国在南海南沙群岛的7个岛礁(美济礁、渚碧礁、永暑礁、华阳礁、南薰礁、东门礁、赤瓜礁)进行小范围内的吹填,构建了人工岛屿,成为海洋开发和经济发展的重要支点<sup>[23]</sup>。由于岛礁建设远离陆地,岛礁附近的地质构造一般比较复杂,岛礁的抗震与耐久性工程建

表1 世界排名前十的跨海大桥(依据长度)

Table 1 Cross-sea bridges in the top ten in terms of length

| 序号 | 国家与工程名称(建成年份)   | 里程(km) | 工程建设特点                  |
|----|-----------------|--------|-------------------------|
| 1  | 中国港澳大桥(2018)    | 55.00  | 主体工程桥、岛、隧组合             |
| 2  | 中国青岛胶州湾大桥(2011) | 42.23  | 包含航道桥、非通航孔桥、引桥、接线工程     |
| 3  | 日本濑户大桥(1988)    | 37.10  | 由多座吊桥、斜拉桥与梁桥连接,公路铁路两用桥  |
| 4  | 美国切萨皮克湾大桥(1964) | 37.00  | 主体工程涵盖桥、隧组合             |
| 5  | 中国杭州湾跨海大桥(2008) | 36.00  | 包含斜拉桥航道桥、非通航孔桥等         |
| 6  | 中国东海大桥(2005)    | 32.50  | 跨越外海,包含斜拉桥航道桥、非通航孔桥等    |
| 7  | 沙特法赫德国王大桥(1986) | 25.00  | 主体工程涵盖桥、岛组合             |
| 8  | 中国深中通道(2024)    | 24.00  | 集“桥、岛、隧、水下互通”于一体的跨海集群工程 |
| 9  | 中国舟山金塘大桥(2009)  | 21.03  | 包含通航孔桥、非通航孔桥和引桥         |
| 10 | 中国泉州湾大桥(2015)   | 20.29  | 包含引桥、高速铁路桥              |

设重点关注的问题<sup>[24~27]</sup>. 近年来, 众多学者对岛礁工程建设的相关问题进行了探究, 涉及地形与地质构造<sup>[28~30]</sup>、材料性质<sup>[31~33]</sup>、地震响应<sup>[34~37]</sup>等. 同时, 考虑到岛礁生态较为脆弱, 海洋环境易受工程建设的影响, 一些学者亦对岛礁的生态稳定性等进行研究<sup>[38,39]</sup>. 夯实岛礁工程的经济、生态、战略地位, 需推动岛礁枢纽化建设以优化江海运输体系, 并推动岛礁工程的绿色低碳建设.

(4) 海上风电工程. 我国拥有广阔的领海, 海上风能资源约为750 GW, 约为陆上风能资源的3倍<sup>[40]</sup>. 2010年, 我国建成了第一个海上风电场(上海东海大桥100 MW海上风电示范项目), 随后一批海上风电场项目落地. 依据国家能源局数据, 表2汇总了2022年全国新增的22项海上风电工程的基本情况, 海上风电仅占装机总量的11.6%, 可见海上风电工程建设正处于发展阶段. 考虑到海上风电工程在结构体系、环境条件以及荷载特征等方面均区别于陆上风电结构, 一些学者研究了极端海洋环境和事件、台风与海浪的耦合、支撑结构以及风电工程系统对海上风电工程的影响<sup>[41~44]</sup>,

但研究复杂水动力环境和支撑体系对风电工程安全性的研究仍亟待深入. 随着研究的深入和技术的进步, 风电工程必然由陆向海、由近海向深海、大容量及漂浮式结构方向发展, 探索安全、高效的陆海相连风电工程(如潍坊昌邑陆海风电项目)技术, 开发新型结构形式与材料可为风电工程的进一步拓展提供助力.

## 2.2 向海土木工程面临的问题与挑战

尽管向海土木工程相关的技术研究积累和基础功能服务不断完善, 但还存在着一些挑战.

(1) 低碳建设与环境保护绿色化不足. 鉴于向海土木工程由内陆向海洋渐变的属性, 向海土木工程建设应重点考虑绿色建设和生态环境保护的区域差异化. 工程建设施工可能造成生态环境保护问题: 绿色环保材料、低碳施工工艺和碳减排措施重视度不够, 影响绿色低碳工程建设成效; 施工影响物种栖息地和生物多样性; 工程建设产生的废水、废渣等污染物可能直接排入河流和海洋, 导致水质下降; 开挖运河、围填海、人工岛建设等可能改变区域水动力环境, 影响水

表2 2022年我国新增海上风电项目

Table 2 New offshore wind power projects in 2022, China

| 海域   | 工程项目名称                                       | 项目位置   | 海域面积(公顷) |
|------|--|--------|----------|
| 黄海海域 | 大唐大连市庄河海上风电场址 I (100 MW)项目                   | 辽宁省大连市 | 102.7094 |
|      | 国家电投山东半岛南3#海上风电场20 MW漂浮式海上光伏示范项目(一期0.5 MW项目) | 山东省烟台市 | 20.8279  |
|      | 三峡山东牟平BDB6#一期(300 MW)海上风电项目                  | 山东省烟台市 | 259.2842 |
| 南海海域 | 明阳阳江青洲四海上风电场项目                               | 广东省阳江市 | 561.7793 |
|      | 国家电投揭阳神泉二350 MW海上风电项目增容项目                    | 广东省揭阳市 | 494.5561 |
|      | 粤电阳江青洲一、青洲二海上风电场项目                           | 广东省阳江市 | 657.2483 |
|      | 海上浮式风电装备试验场工程项目                              | 广东省湛江市 | 161.6628 |
|      | 华能汕头勒门(二)海上风电场项目                             | 广东省汕头市 | 329.5584 |
|      | 中广核惠州港口二PA海上风电场项目                            | 广东省惠州市 | 501.3215 |
|      | 中广核惠州港口二PB海上风电场项目                            | 广东省惠州市 | 135.7823 |
|      | 中广核阳江帆石一海上风电场项目                              | 广东省阳江市 | 667.0267 |
|      | 三峡阳江青洲六海上风电场项目测风塔平台浮标用海                      | 广东省阳江市 | 3.7968   |
|      | 国家电投广东湛江徐闻海上风电场300 MW增容项目                    | 广东省湛江市 | 130.6431 |
| 渤海海域 | 国华爱依斯(黄骅)风电场二期工程                             | 河北省沧州市 | 5.6493   |
|      | 山东能源渤中海上风电A场址工程项目                            | 山东省东营市 | 543.9099 |
|      | 昌邑市海洋牧场与三峡300 MW海上风电融合试验示范项目                 | 山东省潍坊市 | 257.5233 |
|      | 山东能源渤中海上风电B场址工程项目                            | 山东省东营市 | 300.672  |
| 东海海域 | 国家能源集团国华渤中B2场址海上风电项目                         | 山东省东营市 | 328.5962 |
|      | 中广核象山涂茨海上风电项目                                | 浙江省宁波市 | 186.2705 |
|      | 漳浦六鳌海上风电场二期项目                                | 福建省漳州市 | 324.6904 |
|      | 象山1#海上风电场(二期)工程(象海出189号)                     | 浙江省宁波市 | 311.9958 |
|      | 漂浮式海上风电融合深海养殖关键技术研发与工程示范项目                   | 福建省莆田市 | 11.1677  |

流和泥沙运动。

(2) 基础设施功能系统性不足。我国各类向海土木工程建设依然存在基础设施功能不完善、不系统等问题。比如内陆向海型水道较窄、深度不够,难以满足大型船舶航行需求,严重制约铁水、陆水转运的效率;内陆河流和运河受水位、季节和气候影响较大,旧有基础船闸设施规模较小,限制了通航效率;港口水深不足,制约了大吨位船舶的停靠;海上风电建设成本高、施工和维护难度大、陆海相连风电利用技术不成熟。

(3) 集疏运体系建设整体性不足。海港和江港、内河航道网和公路、铁路之间的联运通道有效衔接尚需时日,港口群集疏运体系仍以公路为主,河海联运、水水中转、铁水转运等多式联运发展相对滞后;岛礁工程建设还未发挥中转枢纽功能;海洋风电与能源供给稳定性不足以成为支撑成为大规模向海经济活动的驱动力。各类向海土木工程之间关联度不够,建设时未充分考虑未来经济发展的需求,功能互补不足;区域内港口码头功能布局不合理,基础设施的资源浪费和粗放利用、非良性竞争等情况时有发生。

(4) 抵御重大灾害与超长期服役韧性不足。随着全球气候的变化,工程抗灾变能力与韧性成为工程规划设计中的重要环节。随着向海土木工程从内陆向远海发展,原有设计理论与方法难以保障强对流致灾风侵袭、大型船舶撞击、急流巨浪、爆燃火灾、高烈度地震、极端耦合荷载环境(盐-温-氯-冲刷)等危害下结构的安全可靠性,向海土木工程在建造、运营阶段的安全性和超长期服役韧性仍然面临严峻的挑战,需要推动极端荷载与动力灾害下结构抗连续倒塌能力与性能残存率提升研究,进一步探索向海土木工程由陆及海的衔接区域设计理论、地基不均匀性及外部环境的变化性引起整体耐久性问题。同时,风浪流等多灾害、材料性能退化等耦合作用下结构长期承载能力评估理论与建模方法亟待发展,新型耐久可靠建造材料亟待研发。智能无人建造与智慧运维体系有待突破,向海工程建成后结构和材料自动化检测、腐蚀监测、锈胀裂纹预测等智慧运维方法有待进一步探索。

### 3 向海土木工程主要研究方向

推动向海土木工程建设既要满足安全、高质量和可持续发展的要求,还要实现规模化、体系化发展。发挥向海土木工程体系化优势,拓展协同效应和枢纽功能。

#### 3.1 重要功能

(1) 协同效应。向海土木工程建设以水运、港口、海上土木工程设施联通为基础,发展与规划多类型向海土木工程的空间布局与功能设置。发挥水运行业的运输功能、港口的枢纽转运功能、海上风电的能源功能、岛礁建设的跨区域枢纽中转功能,增加各方的协同合作,发挥“1+1>2”的效应,消除各环节的不确定性,减小风险。建立功能协同、管理协同、运维协同的全面合作机制。推动向海土木工程系统协同化建设发展,建立统一的水运、港口和海上土木工程之间的数据互通与资源共享信息平台,基于云计算和大数据技术优化资源配置、提高工程效率和响应速度,推动智能化、无人化技术在向海土木工程的应用,提升工程建设和维护的智能化水平,鼓励和支持针对复杂环境的新材料、新工艺的研发,持续监测和定期评估协同化建设项目并反馈、调整和优化建设方案,最终实现向海土木工程系统协同化建设。

(2) 枢纽功能。枢纽功能是向海土木工程建设的首要目标,加强各类向海土木工程之间的相互联系,打造外向型交通、枢纽、航运产业集群,有利于增强要素之间的联通建设,加快区域内部生产要素流通及加快我国东、中、西部交通贯通,加快港口、海洋航道以及跨海大桥和海底隧道的建设,为全球贸易和交通提供便利。统筹规划区域综合交通网络体系,实现内河(海洋)航运、公路、铁路和航空等多种运输方式及油气管道、高速光缆和高压输电等技术设备的互联互通。加快陆地、沿海与近海水运基础设施建设,建成相辅相成的内河航运与沿海水运综合网络以服务内外循环发展,推进向海土木工程建设,完善开放型经济基础设施建设,全面提升基础设施建设能力和服务水平。同时,积极参与国际大型基础设施工程建设,引导中国标准赋能国际建设领域,推动向海土木工程建设新突破。

#### 3.2 主要研究方向

依托现有相关研究进展和工程积累,向海土木工程建设既要满足现有经济发展需求,还应考虑未来社会经济发展和环境、生态保护的需要。坚持工程建设以低碳材料、长寿命结构、绿色建造和智慧防灾为基本特征,构建内陆、沿海、深海多层次的向海土木工程应用体系。港口码头、桥梁、隧道、运河、岛礁、海上风电、钻井平台与养殖船等工程建设优先使用低碳建材,优化建设与运维阶段碳减排措施、将工程建

设纳入碳减排试点、设立碳排检测控制区。力争建成“零碳工程”乃至“负碳区域”，实现向海土木工程从低碳环保设计、绿色建造、低碳运维以及资源化回收全生命期的绿色和低碳化，减少废弃物和二氧化碳的排放量，推动向海土木工程的可持续发展。

(1) 绿色低碳材料。在全球低碳化发展和碳中和目标的背景下，向海土木工程应遵循绿色、低碳化建造模式。设计与施工宜结合当地的地理条件、环境、生态特点，因地制宜减少资源开采、运输导致的能源和资源消耗，全面考虑碳减排措施<sup>[45,46]</sup>。推动高强、耐久、绿色、低碳材料研发与材料再利用关键技术突破，使向海土木工程更安全、更绿色、更可靠；推动再生混凝土、纤维增强材料、绿色生态水泥等材料的推广应用，加快能源节约型、资源减量型、空间功能型以及环保绿色型等超高性能材料量产研发。

(2) 长寿命结构。向海土木工程服役中面临由陆向海渐变环境导致的混凝土碳化、氯离子侵蚀等耐久性难题，且受工程地域、环境等时空因素影响显著。考虑到向海土木工程面临的水流冲刷、海水上溯、高湿、高盐等特殊环境，需要在向海土木工程设计中增加长寿命设计理念。在规划设计阶段，引入生命周期安全与低碳协同设计理念，充分考虑向海土木工程结构在建造、运维、拆除与回收再利用生命周期内的最优设计，提出向海土木工程装配式结构超长服役设计理论及其构件可拆可换快速修复设计与施工方法；重视长寿命设计过程中的材料研发、设计理论、计算模型、标准、长寿命评估方法与体系等关键技术突破；建立空-天-地测量技术与建造协同机制，叠加与融合新一代建造与信息检测技术，实现高质量、多途径、全方位、多尺度的工程设计与检测体系，配合工程维护方法延长结构使用寿命。

(3) 绿色建造。绿色建造是向海土木工程领域的重要发展趋势。绿色建造是指在设计和施工过程中采用节能材料和技术，提高建造效率，减少资源和能源消耗、推广建筑材料的回收再利用，优化能源管理，提高能效。依托大数据与数字孪生技术，开展智慧运河、智慧桥梁、智慧港口、智慧海上风电等向海土木工程的绿色建造与运维。构建“陆水空天”互联的建造、检测、运行、维护监控网络，合理规划工程建设工序的能源与资源消耗。依托建造流程智能扫描与监控系统、自动化测量与反馈纠偏系统、多设备互联互通系统、无人机巡检技术、卫星遥感技术等监测检测控制系统进

行大数据的采集与融合，实现对向海土木工程建设的全流程无人化智能控制。加快数字化工程管理、无人机与智能监测协同、智慧化控制技术以及资源再生利用技术相结合<sup>[47]</sup>，建立深度融合的物联数字化建设资源调控平台，采用基础设施BIM模型数据与实时工程数据、地理数据以及物联网多源数据融合，构建向海土木工程绿色建造与评价体系。

(4) 智慧防灾。推动高灾变、多风险荷载作用下向海土木工程抗风、抗波、抗震设计，依托结构特性，探究不同作用下结构响应与作用机理，发展多作用耦合下结构响应与灾变智慧预测模型，发展复杂荷载作用下结构设计理论，增强高耐久性材料研发与结构的抗灾性能及稳定性提升，提高向海土木工程抗腐蚀和抗灾变韧性。推动结构设计方法优化与新型结构体系研发，实现被动抗灾结构体系设计与主动防灾控制技术融合理论突破，进一步完善结构设计并保障结构安全可靠；建立灾前防御、灾中处置、灾后重建恢复全过程韧性提升设计，增强结构的智慧防灾能力，从而提升向海土木工程系统的防灾韧性。多种向海工程联动可解决单一能源供给、货物运输、中转枢纽的局限性，提升特殊情况下向海土木工程的服务韧性体系。

此外，环境友好型的新型生物矿化韧性减灾技术，如微生物诱导碳酸钙沉积(MICP)<sup>[48-50]</sup>，在向海土木工程中展现出巨大潜力。MICP可在海洋环境中进行码头、防波堤等混凝土结构的裂缝修复，能有力提升人工鱼礁的建造质量，能有效构建海岸防护层，也能应用于软土地基上的海上平台基础等向海土木工程的地基加固。

## 4 向海土木工程发展关键问题

尽管向海土木工程相关技术和工程建设已有了长足的进步，已初步形成单体向海土木工程相关设计理论与建造方法，以及绿色设计和初步的标准体系建设，但现有的研究成果主要涉及单一方面的创新，还不足以支撑绿色、长寿命、智能与高抗灾韧性的向海土木工程设计-建造-运维体系建设。因此，向海土木工程还需要关注以下关键科学问题：

(1) 向海土木工程低碳材料研发及劣化机理研究。加快向海土木工程建设低碳化发展，推动复杂条件下高性能再生混凝土、海洋骨料混凝土、绿色低碳新材料、超常耐久性胶凝材料、超常高韧性材料的研发和应用，探究复杂施工与服役条件下材料的耐冲磨、耐腐蚀、低孔隙率和高耐久性等影响结构长寿命问题；

推动防护涂层材料、降噪密封材料、航运减阻材料、绿色环境治理材料等特种功能材料研发,建立性能可控、质量稳定的向海土木工程材料支撑体系;探究渐变服役环境下向海土木工程材料的内在劣化机理研究,厘清多种材料组合下结构性能衰减与优化途径;推动向海土木工程绿色材料生产与超低碳建造标准体系建设,指导绿色、低碳建材生产与研发;明晰多因素和环境影响下材料选用和运维碳排放的集成与耦联关系,建立向海土木工程全生命期的材料近零碳排放标准体系与实施方案。

(2)“风火水浪震”联合作用下向海土木工程绿色建筑原理与技术。厘清向海土木工程施工难点和堵点,探究环境变化、材料供应、结构形式、施工工艺对工程建设的影响,研发全天候、高韧性向海土木工程施工装备与关键施工技术;厘清临水、临海、近海和深海建造技术差异,开展不同地理位置条件的向海土木工程建设关键技术研发;基于天气预报系统、智能控制调控平台建设和实时性能调控技术研究,突破绿色低碳、智能建造关键技术研发难点,建立复杂施工条件下智能建造装备与技术研发体系;厘清向海土木工程建设面临的“风火水浪震”挑战,提出复杂受力状态和环境耦合下施工工艺和标准,实现施工装备和建造的绿色化、低碳化、无人化;探究向海土木工程低碳建造安全和运维的生命周期演化规律,构建基于实际工程建造的数字孪生平台,建立向海土木工程施工安全分析与评价模型;厘清向海土木工程建设对环境生态的挑战,建立供需平衡、集约高效、循环低碳的向海土木工程发展新格局。

(3)复杂条件下向海土木工程建设选址、韧性提升及其环境风险和耐久性评估与防控。依托大数据技术、数字孪生技术、智能检测技术等,建立复杂条件下向海土木工程的智慧检测、建设与运维平台;依据远期需求和相邻多类型向海土木工程配置,优化项目选址,明晰向海土木工程材料长寿命提升方法与韧性提升机制,建立以环境侵蚀和耐久性损伤状态为核心的损伤状态评估理论与模型,研发多类型向海土木工

程集约化智能检测和安全预警技术,实现工程的短期和长期风险识别、评估与防控;考虑工程地域、环境等时空因素影响,提出材料的选择和防腐、防渗、抗冲刷措施,增强结构和基础的强度和稳定性,强化安全性与舒适性并重理念,提升向海土木工程抗腐蚀和抗灾变能力,延长结构寿命。

## 5 结语

向海土木工程是指人类为开展由陆向海活动而建设的各类新兴建设工程设施及其所涉及的相关科学技术,涵盖面向由陆向海发展所需的新型材料、结构体系及设计建造。本文从向海图强国家战略和绿色低碳发展目标的视角,剖析了向海土木工程的内涵,分析了向海土木工程相关科学研究进展,提出了向海土木工程建设的基本架构,并提炼了相应的发展关键科学问题,主要结论如下:

(1)向海土木工程的发展依托向海图强战略和绿色低碳发展目标,加快向海土木工程建设有助于促进向海经济的发展,推动海洋强国战略的实施,实现向海经济高质量可持续发展。基于这种优势,向海土木工程有望为现代海洋经济注入新的增长点。

(2)向海土木工程具有综合性、基础性和交叉性的特点,是一个多学科交叉、技术创新活跃且充满挑战的领域。依据其功能需求,涵盖与向海经济相关的土木工程基础设施,例如跨海交通工程、外向型水运枢纽工程、现代运河工程等。

(3)基于向海土木工程的发展需求,还需重点关注向海土木工程低碳材料研发与劣化机理研究问题,加快突破“风火水浪震”联合作用下向海土木工程绿色建筑理论与关键技术,深入开展复杂条件下向海土木工程建设选址、韧性提升及其短期与长期环境风险评估与防控研究。

(4)向海土木工程建设是绿色、低碳、可持续工程建设的集中体现。向海土木工程建设需以低碳材料、长寿命结构、绿色建造与智慧抗灾为基本理念,构建多层次、多功能的向海土木工程科技体系。

**致谢** 感谢各位专家对本文提出的修改意见与细致指导。

## 参考文献

- 1 Guangxi University of Finance and Economics, Guangxi Institution of Seaward Economic. Seaward economy in the new development stage:

- connotation, meaning and the road to high-quality development (in Chinese). *Governance*, 2022, (3): 44–50 [广西财经学院广西向海经济研究院. 新发展阶段的向海经济: 内涵、意义与高质量发展之路. *国家治理*, 2022, (3): 44–50]
- 2 Chen M B, Han L M. Internal logic and realization path for promoting high-quality development in the seaward economy (in Chinese). *Governance*, 2023, (8): 53–60 [陈明宝, 韩立民. 向海经济推动高质量发展的内在逻辑与实现路径. *国家治理*, 2023, (8): 53–60]
  - 3 Wu W, Zhao Y, Gou Y, et al. An overview of structural design, analysis and common monitoring technologies for floating platform and flexible cable and riser. *China Ocean Eng*, 2022, 36: 511–531
  - 4 Liu Y, Chen Y. The importance and technical difficulties of tunnel and islands for Hong Kong Zhuhai Macao bridge project (in Chinese). *Eng Mech*, 2011, 28: 67–77 [李英, 陈越. 港珠澳大桥岛隧工程的意义及技术难点. *工程力学*, 2011, 28: 67–77]
  - 5 Li H J, Liu F S, Du J F, et al. Development trend and technical challenges of ocean engineering (in Chinese). *Coast Eng*, 2022, 41: 283–300 [李华军, 刘福顺, 杜君峰, 等. 海洋工程发展趋势与技术挑战. *海岸工程*, 2022, 41: 283–300]
  - 6 Xiao J Z, Zhou Z H, Xia B, et al. A critical review and suggestions for sustainability improvement of floating concrete structures (in Chinese). *J Tongji Univ (Nat Sci)*, 2024, 52: 1843–1853 [肖建庄, 周子晗, 夏冰, 等. 混凝土漂浮结构的设计简介及其可持续性提升建议. *同济大学学报(自然科学版)*, 2024, 52: 1843–1853]
  - 7 Liu N. Research and contemplation on key issues in construction of Pinglu Canal Project (in Chinese). *Port Waterway Eng*, 2024, 6: 1–11 [刘宁. 平陆运河工程建设关键问题研究与思考. *水运工程*, 2024, 6: 1–11]
  - 8 Wang T, Wu Y D, Li J, et al. Analysis of the geopolitical environment of geographical names and countries in the sea areas of the Nanhai Zhudao (in Chinese). *Trop Geogr*, 2022, 42: 1050–1060 [王涛, 武友德, 李君, 等. 南海诸岛海域地名国别地缘环境解析. *热带地理*, 2022, 42: 1050–1060]
  - 9 The State Council of the People's Republic of China. China's Action Plan for Carbon Dioxide Peaking and Carbon Neutrality (2024 Revised Edition) (in Chinese). Beijing: People's Publishing House, 2024 [中华人民共和国国务院. 中国碳达峰碳中和行动方案(2024修订版). 北京: 人民出版社, 2024]
  - 10 Chen J, Qu Y, Sun Z. Protection mechanisms, countermeasures, assessments and prospects of local scour for cross-sea bridge foundation: a review. *Ocean Eng*, 2023, 288: 116145
  - 11 Wang S Y, Qi W G, Gao F P, et al. Time development of clear-water scour around a pile foundation: phenomenological theory of turbulence-based approach. *Coast Eng*, 2024, 190: 104511
  - 12 Amini A, Melville B W, Ali T M. Local scour at piled bridge piers including an examination of the superposition method. *Can J Civ Eng*, 2014, 41: 461–471
  - 13 Craswell T, Akib S. Reducing bridge pier scour using gabion mattresses filled with recycled and alternative materials. *Eng*, 2020, 1: 188–210
  - 14 Shi Y, Fan S, Liu C, et al. Study on multidimensional and multipoint seafloor spatial ground motion simulation under an ice-water layer and the dynamic response of a cross-sea bridge. *Ocean Eng*, 2023, 281: 114901
  - 15 Wang C M, Wang B T. Large Floating Structures - Technological Advances. Singapore: Springer Singapore, 2015. 1–36
  - 16 Eidem M E. Overview of floating bridge projects in Norway. In: ASME 2017 36th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering. New York: ASME Conference Proceedings, 2017. OMAE2017-62714
  - 17 Watanabe E. Floating bridges: past and present. *Struct Eng Int*, 2003, 13: 128–132
  - 18 Liu K, Wang J Y. Building Pinglu Canal with high-standards and high-quality, complying with perspectives of history, system and practice (in Chinese). *Port Waterway Eng*, 2024, (7): 1–5 [刘可, 王劼耘. 牢牢把握历史观、系统观、实践观, 高标准高质量建设平陆运河. *水运工程*, 2024, (7): 1–5]
  - 19 Liu N. Research on the waterway system and intermodal transport model of the New Western Land-Sea Corridor driven by the Pinglu Canal (in Chinese). *Hydro-Sci Eng*, 2025, (1): 1–15 [刘宁. 以平陆运河为牵引的西部陆海新通道水运体系和联运模式研究. *水利水运工程学报*, 2025, (1): 1–15]
  - 20 Xiao J Z, Yu C H, Xia B, et al. Fundamental technical problems and countermeasures in the low-carbon construction of canal engineering (in Chinese). *Strateg Stud CAE*, 2024, 26: 210–221 [肖建庄, 俞才华, 夏冰, 等. 运河工程低碳建造基本技术问题及对策. *中国工程科学*, 2024, 26: 210–221]
  - 21 Chang K X, Huang J H, Wang X, et al. Research on scene model construction of the Pinglu canal based on digital twin technology (in Chinese). *China Water Transport*, 2024, (23): 67–69 [常凯旋, 黄建华, 王雪, 等. 基于数字孪生技术的平陆运河场景模型构建研究. *中国水运*, 2024, (23): 67–69]
  - 22 Wu Z L, Kan D J, Tang J H, et al. Technical scheme of ecological belt construction in the process of canal channel development (in Chinese). *Port Waterway Eng*, 2021, (10): 256–259 [吴志龙, 阚得静, 汤建宏, 等. 运河航道开发过程中生态带建设技术方案. *水运工程*, 2021, (10): 256–259]
  - 23 Hu J J, Zheng X, Xie L L, et al. Derivation of ground motion attenuation relation for earthquake in the South China Sea areas based on a hybrid method (in Chinese). *China Civil Eng J*, 2018, 51: 36–49 [胡进军, 郑旭, 谢礼立. 基于混合方法的南海海域地震动衰减关系研究. *土木工程学报*, 2018, 51: 36–49]
  - 24 Tang Q, Zhang J, Feng Y, et al. Numerical simulation for shallow strata stability of coral reef in the southwest of Yongshu Reef (South China Sea).

- J Ocean Univ China*, 2018, 17: 763–772
- 25 Liu J, Bao X, Wang D, et al. Seismic response analysis of the reef-seawater system under incident SV wave. *Ocean Eng*, 2019, 180: 199–210
- 26 Bao X, Liu J, Li S, et al. Nonlinear seismic response analysis of reef-coral sand site in the South China Sea. *Ocean Eng*, 2023, 281: 114966
- 27 Liu S X, Hu J J. Review of seismic response of offshore reef and site (in Chinese). *World Earthq Eng*, 2024, 40: 136–147 [刘书序, 胡进军. 远海岛礁与场地地震反应研究现状. *世界地震工程*, 2024, 40: 136–147]
- 28 Cui Y S, Ma L, Liu H Y, et al. Discussion on geophysical methods applied to investigation of coral island and reef (in Chinese). *Rock Soil Mech*, 2014, 35(S2): 683–689 [崔永圣, 马林, 刘宏岳, 等. 珊瑚岛礁工程地球物理方法初探. *岩土力学*, 2014, 35(S2): 683–689]
- 29 Sang D, Zhang S, Xie P, et al. A micro-meso coupled model for coral reef rocks based on CT Scanning. *Eng Geol*, 2024, 338: 107635
- 30 Douarin M, Sinclair D J, Elliot M, et al. Changes in fossil assemblage in sediment cores from Mingulay Reef Complex (NE Atlantic): implications for coral reef build-up. *Deep Sea Res Part II-Topical Studies Oceanography*, 2014, 99: 286–296
- 31 Wang C G, Su S Z, Xiao Y, et al. Fractional-order bounding surface model considering breakage of calcareous sand (in Chinese). *Chin J Geotech Eng*, 2023, 45: 1162–1170 [汪成贵, 束善治, 肖杨, 等. 考虑钙质砂颗粒破碎的分数阶界面本构模型. *岩土工程学报*, 2023, 45: 1162–1170]
- 32 Smith T B, Nemeth R S, Blondeau J, et al. Assessing coral reef health across onshore to offshore stress gradients in the US Virgin Islands. *Mar Pollution Bull*, 2008, 56: 1983–1991
- 33 Chen X G, Zhu X, Zhao D F, et al. Nonlinear seismic response characteristics of a coral island site (in Chinese). *Chin J Geotech Eng*, 2019, 41: 405–413 [陈国兴, 朱翔, 赵丁凤, 等. 珊瑚岛礁场地非线性地震反应特征分析. *岩土工程学报*, 2019, 41: 405–413]
- 34 Bao X. Research on the seismic response of the reef-seawater system (in Chinese). Doctor Dissertation. Beijing: Tsinghua University, 2020 [宝鑫. 岛礁-海水系统地震反应研究. 博士学位论文. 北京: 清华大学, 2020]
- 35 Huang L, Liu X, Liu Z, et al. Scattering of seismic waves by reef sites in saturated layered sea areas-simulated using the indirect boundary element method. *Soil Dyn Earthq Eng*, 2024, 183: 108804
- 36 Zhu S H, Yin X Q, Wang G X. A method for seismic response analysis of coral island sites based on UPFS (in Chinese). *China Earthq Eng J*, 2022, 44: 108–118 [朱圣华, 尹训强, 王桂萱. 基于UPFs的珊瑚岛礁场地地震反应分析方法研究. *地震工程学报*, 2022, 44: 108–118]
- 37 Williams C, Paumard V, Webster J M, et al. Environmental controls on the resilience of Scott Reefs since the Miocene (North West Shelf, Australia): insights from 3D seismic data. *Mar Pet Geol*, 2023, 151: 106188
- 38 Wu Y, Zhang T, Zhang H, et al. Factors influencing the ecological security of island cities: a neighborhood-scale study of Zhoushan Island, China. *Sustain Cities Soc*, 2020, 55: 102029
- 39 Cui P W, Dai H F, Zhu A H. Ecological status, protection and development strategies of South China Sea islands (in Chinese). *Chin J Trop Crop*, 2023, 44: 1917–1924 [崔鹏伟, 戴好富, 朱安红. 南海岛礁生态现状、保护与发展策略. *热带作物学报*, 2023, 44: 1917–1924]
- 40 Da Z, Xiliang Z, Jiankun H, et al. Offshore wind energy development in China: current status and future perspective. *Renew Sustain Energy Rev*, 2011, 15: 4673–4684
- 41 Chen G H. Interdecadal variation of tropical cyclone activity in association with summer monsoon, sea surface temperature over the western North Pacific. *Sci Bull*, 2009, 54: 1417–1421
- 42 Huang G Q, Zhao C X, Zhou X H, et al. Improved wind-induced fragility assessment method of offshore wind turbines under typhoon and its application (in Chinese). *J Vib Eng*, 2022, 35: 331–341 [黄国庆, 赵晨旭, 周绪红, 等. 改进的台风下单桩海上风机易损性分析方法及应用. *振动工程学报*, 2022, 35: 331–341]
- 43 Kuang L, Katsuchi H, Zhou D, et al. Strategy for mitigating wake interference between offshore vertical-axis wind turbines: evaluation of vertically staggered arrangement. *Appl Energy*, 2023, 351: 121850
- 44 Zhang J, Wang H. Development of offshore wind power and foundation technology for offshore wind turbines in China. *Ocean Eng*, 2022, 266: 113256
- 45 Xiao J, Shen J, Duan Z, et al. Basic problems and low-carbon technical path of construction spoil recycling (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2023, 68: 2722–2736 [肖建庄, 沈剑羽, 段珍华, 等. 工程渣土资源化基础问题与低碳技术路径. *科学通报*, 2023, 68: 2722–2736]
- 46 Xiao J, Shen J, Ma S, et al. Multi-path utilization of earthwork in Pinglu Canal: basic problems and solutions (in Chinese). *Strategic Study CAE*, 2024, 26: 251–262 [肖建庄, 沈剑羽, 马少坤, 等. 平陆运河土石方多路径利用的基础问题与解决途径. *中国工程科学*, 2024, 26: 251–262]
- 47 Wang P J, Xiao J Z, Xiao X W, et al. Application and prospect of digital technology in building construction (in Chinese). *J Tongji Univ (Nat Sci)*, 2024, 52: 1068–1078 [王璞瑾, 肖建庄, 肖绪文, 等. 数字化技术在建筑工程施工中的应用与前瞻. *同济大学学报(自然科学版)*, 2024, 52: 1068–1078]
- 48 Liu H L, Xiao P, Xiao Y, et al. Dynamic behaviors of MICP-treated calcareous sand in cyclic tests (in Chinese). *Chin J Geotech Eng*, 2018, 40: 38–45 [刘汉龙, 肖鹏, 肖杨, 等. 胶结钙质砂动力特性试验研究. *岩土工程学报*, 2018, 40: 38–45]
- 49 Ji Y, Zhou J, Xie L, et al. Quantitative microstructural characterization and seepage visualization of biocemented sand. *Comput Geotechnics*, 2024, 174: 106594
- 50 Xie L Q, Zhou J S, Shen L, et al. Discrete element study on mechanical properties of MICP-Treated sand under triaxial compression. *J Marine Sci Eng*, 2024, 12: 105324

Summary for “向海土木工程的内涵与发展前沿”

# Connotation and forefront development of ocean-oriented civil engineering

Jianzhuang Xiao<sup>1,2,3,4\*</sup>, Wenming Li<sup>2</sup>, Yaan Hu<sup>4,5</sup>, Haifeng Yang<sup>1,3</sup>, Liquan Xie<sup>2</sup>, Bing Xia<sup>2</sup> & Danni Luo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> School of Civil Engineering and Architecture, Guangxi University, Nanning 530004, China

<sup>2</sup> College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China

<sup>3</sup> Institute of Science and Technology for Carbon Peak & Neutrality, Guangxi University, Nanning 530004, China

<sup>4</sup> Guangxi Laboratory of Modern Canal, Nanning 530029, China

<sup>5</sup> Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China

\* Corresponding author, E-mail: [jzxiao@gxu.edu.cn](mailto:jzxiao@gxu.edu.cn), [jzx@tongji.edu.cn](mailto:jzx@tongji.edu.cn)

With the growth of the global population and the acceleration of global trade, land resources are becoming scarce and the inner-cycle economy development model limits economic development. Therefore, the development and utilization of the ocean-oriented economic development model have become an important way to solve this problem and these initiatives require tailored infrastructures. Over the past several decades, with the advancement of marine engineering technology and the increase in mankind's demand for ocean economy, scientific research related to the ocean-oriented civil engineering has developed rapidly. However, several deficiencies persist, such as insufficient systematic functionality of infrastructures, lack of overall integration in transportation network systems, and inadequate disaster resilience against sporadic major disasters and extended service lifespans. Given the national strategies related to the transportation and the ocean, as well as the current development deficiencies of ocean-oriented civil engineering, it is imperative to conduct a comprehensive summary and exploration of the definition, development, and challenges faced by the ocean-oriented civil engineering.

Firstly, the concept, definition, and connotation of ocean-oriented civil engineering are elucidated. The national strategic and technical basis for supporting the development of ocean-oriented civil engineering are analyzed. Starting from the needs of economic and social development, the construction and scientific research progress related to the ocean-oriented civil engineering are reviewed, further summarizing the basic problems and constraints existing in the development of ocean-oriented civil engineering. Based on the important needs of future open economy development and striving to build a strong maritime country, a basic framework for the discipline of ocean-oriented civil engineering is proposed. Additionally, key scientific problems of the ocean-oriented civil engineering that need to be paid attention to in the future are prospected. Based on the development of ocean-oriented civil engineering, it is essential to focus on the research and development of low-carbon materials for ocean-oriented civil engineering and their deterioration mechanism, accelerate the breakthrough in green construction technologies of ocean-oriented civil engineering under the interaction of “wind, fire, water surge, earthquake and collision”, and intensify studies on the site selection, resilience enhancement, and the risk assessment, and management of short-term and long-term environmental impacts under complex conditions in the ocean-oriented civil engineering.

The development of ocean-oriented civil engineering relies on the national strategy for strengthening the nation through maritime prowess. Accelerating the construction of ocean-oriented civil engineering helps to promote the development of an ocean-oriented economy and the implementation of the strategy of ocean power. Given this advantage, a new economic growth point into the modern ocean economy is expected to be injected by ocean-oriented civil engineering. In summary, the mutual coordination between modern ocean-oriented civil engineering construction and the environment epitomizes the essence of green, low-carbon, and sustainable engineering practices. Adhering to the fundamental principles of using low-carbon materials, ensuring long service life, promoting green construction methods, and enhancing disaster prevention, it is essential to establish a multi-level, multi-functional application system for ocean-oriented civil engineering.

**ocean-oriented civil engineering, low-carbon materials, long-life structure, green construction, smart disaster prevention**

doi: [10.1360/TB-2024-1230](https://doi.org/10.1360/TB-2024-1230)