

新时代海上工程创新技术与实践丛书

编委会主任 邱大洪

编委会副主任 练继建

# 防波堤与护岸新型消浪护面块体 研发关键技术及工程应用

戈龙仔 陈汉宝 高峰 陈松贵

| 著 |



上海科学技术出版社

新时代海上工程创新技术与实践丛书

编委会主任 邱大洪

编委会副主任 练继建

# 防波堤与护岸新型消浪护面块体 研发关键技术及工程应用

戈龙仔 陈汉宝 高峰 陈松贵

| 著 |



上海科学技术出版社

### 图书在版编目(CIP)数据

防波堤与护岸新型消浪护面块体研发关键技术及工程应用 / 戈龙仔等著. -- 上海: 上海科学技术出版社, 2021. 1

(新时代海上工程创新技术与实践丛书)

ISBN 978-7-5478-4931-6

I. ①防… II. ①戈… III. ①防波堤—防波装置②护岸—防波装置 IV. ①U656.2②U656.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第103220号

## 防波堤与护岸新型消浪护面块体研发关键技术及工程应用

戈龙仔 陈汉宝 高峰 陈松贵 著

上海世纪出版(集团)有限公司 出版、发行  
上海科学技术出版社  
(上海钦州南路71号 邮政编码 200235 www.sstp.cn)

印刷

开本 787×1092 1/16 印张 10.25

字数 200千字

2021年1月第1版 2021年1月第1次印刷

ISBN 978-7-5478-4931-6 /TV·10

定价: 95.00元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题, 请向工厂联系调换

# 新时代海上工程创新技术与实践丛书

## 编委会

主 任

邱大洪

副主任

练继建

编 委

(以姓氏笔画为序)

吕卫清 刘 勇 孙林云 吴 澎 张华庆

罗先启 季则舟 郑金海 董国海 程泽坤

# 内容提要

新时代海上工程创新技术与实践丛书  
防波堤与护岸新型消浪护面块体研发  
关键技术及工程应用

本书结合交通运输部天津水运工程科学研究院海洋水动力研究中心创新团队在港口工程建设中的系列成果,基于交通运输部基础应用项目“新型深水防波堤结构形式与消浪块体稳定性研究”和《深入推进绿色港口建设行动方案》的纲要,详细介绍了米字型消浪护面块体、双联消浪护面块体、TB-CUBE 消浪护面块体三种新型块体,主要内容包括利用物理模型试验技术手段对块体研发关键技术和工程应用进行论证,得出块体的设计参数、稳定和消浪机理,并总结归纳出工程上的最优适用条件,以及新型块体应用产生的社会和经济效益,最后对新型块体再次提升优化进行了展望。

本书可供从事波浪与结构相互作用工程研究的科研人员 and 高等院校港口、海岸及近岸工程相关专业的师生参考。

近年来,我国各项基础设施建设的发展如火如荼,“一带一路”建设持续推进,许多重大工程项目如雨后春笋般蓬勃兴建,诸如三峡工程、青藏铁路、南水北调、三纵四横高铁网、港珠澳大桥、上海中心大厦,以及由我国援建的雅万高铁、中老铁路、中泰铁路、瓜达尔港、比雷埃夫斯港,等等,不一而足。毋庸置疑,我国已成为世界上建设重大工程最多的国家之一。这些重大工程项目就其建设规模、技术难度和资金投入等而言,不仅在国内,即使在全球范围也都位居前茅,甚至名列世界第一。在这些工程的建设过程中涌现的一系列重大关键性技术难题,通过分析探索创新,很多都得到了很好的优化和解决,有的甚至在原来的理论、技术基础上创造出了新的技术手段和方法,申请了大量的技术专利。例如,632 m 的上海中心大厦,作为世界最高的绿色建筑,其建设在超高层设计、绿色施工、施工监理、建筑信息化模型(BIM)技术等多方面取得了多项科研成果,申请到 8 项发明专利、授权 12 项实用新型技术。仅在结构工程方面,就应用到了超深基坑支护技术、超高泵送混凝土技术、复杂钢结构安装技术及结构裂缝控制技术等诸多创新性的技术革新成果,有的达到了世界先进水平。这些优化、突破和创新,对我国工程技术人员将是非常宝贵的参考和借鉴。

在 2016 年 3 月初召开的全国人大全体会议期间,很多代表谈到,极大量的技术创新与发展是“十三五”时期我国宏观经济实现战略性调整的一项关键性驱动因素,是实现国家总体布局下全面发展的根本支撑和关键动力。

同时,在新一轮科技革命的机遇面前,也只有关键核心技术上一个个地进行创新突破,才能实现社会生产力的全面跃升,使我国的科研成果和工程技术掌控两者的水平和能力尽早、尽快地全面进入发达国家行列,从而在国际上不断提升技术竞争力,而国力将更加强大!当前,许多工程技术创新得到了广泛的认可,但在创新成果的推广应用中还存在不少问题。在重大工程建设领域,关键工程技术难题在实践中得到突破和解决后,需要把新的理论或方法进一步梳理总结,再一次地广泛应用于生产实践,反过来又将再次推

动技术的更进一步的创新和发展,是为技术的可持续发展之巨大推动力。将创新成果进行系统总结,出版一套有分量的技术专著是最有成效的一个方法。这也是出版“重大工程建设关键技术研究”丛书的意义之所在。以推广学术上的创新为主要目标,“重大工程建设关键技术研究”丛书主要具有以下几方面的特色:

1. 聚焦重大工程和关键项目。目前,我国基础设施建设在各个领域蓬勃开展,各类工程项目不断上马,从项目体量和技术难度的角度,我们选择了若干重大工程和关键项目,以此为基础,总结其中的专业理论和专业技术使之编纂成书。由于各类工程涉及领域和专业门类众多,专业学科之间又有相互交叉和融合,难以单用某个专业来设定系列丛书,所以仍然以工程大类为基本主线,初步拟定了隧道与地下工程、桥梁工程、铁道工程、公路工程、超高层与大型公共建筑、水利工程、港口工程、城市规划与建筑共八个领域撰写成系列丛书,基本涵盖了我国工程建设的主要领域,以期为未来的重大工程建设提供专业技术参考指导。由于涉及领域和专业多,技术相互之间既有相通之处,也存在各自的不同,在交叉技术领域又根据具体情况做了处理,以避免内容上的重复和脱节。

2. 突出共性技术和创新成果,侧重应用技术理论化。系列丛书围绕近年来重大工程中出现的一系列关键技术难题,以项目取得的创新成果和技术突破为基础,有针对性地梳理各个系列中的共性、关键或有重大推广价值的技术经验和科研成果,从技术方法和工程实践经验的角度进行深入、系统而又详尽的分析和阐述,为同类难题的解决和技术的提高提供切实的理论依据和应用参考。在“复杂地质与环境条件下隧道建设关键技术丛书”(钱七虎院士任编委会主任)中,对当前隧道与地下工程施工建设中出现的关键问题进行了系统阐述并形成相应的专业技术理论体系,包括深长隧道重大突涌水灾害预测预警与风险控制、盾构工程遇地层软硬不均与极软地层的处理、类矩形盾构法、水下盾构隧道、地面出入式盾构法隧道、特长公路隧道、隧道地质三维探测、盾构隧道病害快速检测、隧道及地下工程数字化、软岩大变形隧道新型锚固材料等,使得关键问题在研究中得到了不同程

度的解决和在后续工程中的有效实施。

3. 注重工程实用价值。系列丛书涉及的技术成果要求在国内已多次采用,实践证明是可靠的、有效的,有的还获得了技术专利。系列丛书强调以理论为引领,以应用为重点,以案例为说明,所有技术成果均要求以工程项目为背景,以生产实践为依托,使丛书既富有学术内涵,又具有重要的工程应用价值。如“长大桥梁建养关键技术丛书”(郑皆连院士任编委会主任、陈政清院士任副主任),围绕特大跨度悬索桥、跨海长大桥梁、多塔斜拉桥、特大跨径钢管混凝土拱桥、大跨度人行桥、大比例变宽度空间索面悬索桥等重大桥梁工程,聚焦长大桥梁的设计创新理论、施工创新技术、建设难点的技术突破、桥梁结构健康监测与状态评估、运营期维修养护等,主要内容包括大型钢管混凝土结构真空辅助灌注技术、大比例变宽度空间索面悬索桥体系、新型电涡流阻尼减振技术、长大桥梁的缆索吊装和斜拉扣挂施工、超大型深水基础超高组合桥塔、变形智能监测、基于 BIM 的建养一体化等。这些技术的提出以重大建设工程项目为依托,包括合江长江一桥、合江长江二桥、巫山长江大桥、桂广铁路南盘江大桥、张家界大峡谷桥、西堍门大桥、嘉绍大桥、港珠澳大桥、虎门二桥等,书中对涉及具体工程案例的相关内容进行了详尽分析,具有很好的应用参考价值。

4. 聚焦热点,关注风险分析、防灾减灾、健康检测、工程数字化等近年来出现的新兴分支学科。在绿色、可持续发展原则指导下,近年来基础建设领域的技术创新在节能减排、低碳环保、绿色土木、风险分析、防灾减灾、健康检测(远程无线视频监控)、工程使用全寿命周期内的安全与经济、可靠性和耐久性、施工技术组织与管理、数字化等方面均有较多成果和实例说明,系列丛书在这些方面也都有一定体现,以求尽可能地发挥丛书对推动重大建设工程的长期、绿色、可持续发展的作用。

5. 设立开放式框架。由于上述的一些特性,使系列丛书各分册的进展快慢不一,所以采用了开放式框架,并在后续系列丛书各分册的设定上,采用灵活的分阶段付梓出版的方式。

6. 主编作者具备一流学术水平,从而为丛书内容的学术质量打下了坚实的基础。各个系列丛书的主编均是该领域的学术权威,在该领域具有重要的学术地位和影响力。如陈政清教授,中国工程院院士,“985”工程首席科学家,桥梁结构与风工程专家;郑皆连教授,中国工程院院士,路桥工程专家;钱七虎教授,中国工程院院士,防护与地下工程专家;吴志强教授,中国工程院院士,城市规划与建设专家;等等。而参与写作的主要作者都是活跃在我国基础设施建设科研、教育和工程的一线人员,承担过重大工程建设项目或国家级重大科研项目,他们主要来自中铁隧道局集团有限公司、中交隧道工程局有限公司、中铁十四局集团有限公司、中交第一公路工程局有限公司、青岛地铁集团有限公司、上海城建集团、中交公路规划设计院有限公司、陆军研究院工程设计研究所、招商局重庆交通科研设计院有限公司、天津城建集团有限公司、浙江省交通规划设计研究院、江苏交通科学研究院有限公司、同济大学、河海大学、西南交通大学、湖南大学、山东大学等。各位专家在承担繁重的工程建设和科研教学任务之余,奉献了自己的智慧、学识和汗水,为我国的工程技术进步做出了贡献,在此谨代表丛书总编委对各位的辛劳表示衷心的感谢和敬意。

当前,不仅国内的各项基础建设事业方兴未艾,在“一带一路”倡议下,我国在海外的重大工程项目建设也正蓬勃发展,对高水平工程科技的需求日益迫切。相信系列丛书的出版能为我国重大工程建设的开展和创新科技的进步提供一定的助力。

孙 钧

2017年12月,于上海

孙钧先生,同济大学一级荣誉教授,中国科学院资深院士,岩土力学与工程国内外知名专家。“重大工程建设关键技术研究”系列丛书总主编。

基础设施互联互通,包括口岸基础设施建设、陆水联运通道等是“一带一路”建设的优先领域。开发建设港口、建设临海产业带、实现海洋农牧化、加强海洋资源开发等是建设海洋经济强国的基本任务。我国海上重大基础设施起步相对较晚,进入 21 世纪后,在建设海洋强国战略和《交通强国建设纲要》的指引下,经过多年发展,我国海洋事业总体进入了历史上最好的发展时期,海上工程建设快速发展,在基础研究、核心技术、创新实践方面取得了明显进步和发展,这些成就为我们建设海洋强国打下了坚实基础。

为进一步提高我国海上基础工程的建设水平,配合、支持海洋强国建设和创新驱动发展战略,以这些大型海上工程项目的创新成果为基础,上海科学技术出版社与丛书编委会一起策划了本丛书,旨在以学术专著的形式,系统总结近年来我国在护岸、港口与航道、海洋能源开发、滩涂和海上养殖、围海等海上重大基础建设领域具有自主知识产权、反映最新基础研究成果和关键共性技术、推动科技创新和经济发展深度融合的重要成果。

本丛书内容基于“十一五”“十二五”“十三五”国家科技重大专项、国家“863”项目、国家自然科学基金等 30 余项课题(相关成果获国家科学技术进步一、二等奖,省部级科技进步特等奖、一等奖,中国水运建设科技进步特等奖等),编写团队涵盖我国海上工程建设领域核心科研院所、高校和骨干企业,如中交水运规划设计院有限公司、中交第一航务工程勘察设计院有限公司、中交第三航务工程勘察设计院有限公司、中交第三航务工程局有限公司、中交第四航务工程局有限公司、交通运输部天津水运工程科学研究所、南京水利科学研究所、中国海洋大学、河海大学、天津大学、上海交通大学、大连理工大学等。优秀的作者团队和支撑课题确保了本丛书具有理论的前沿性、内容的原创性、成果的创新性、技术的引领性。

例如,丛书之一《粉沙质海岸泥沙运动理论与港口航道工程设计》由中交第一航务工程勘察设计院有限公司编写,在粉沙质海岸港口航道等水域设计理论的研究中,该书创新性地提出了粉沙质海岸航道骤淤重现期的概念,系统提出了粉沙质海岸港口水域总体布置

的设计原则和方法,科学提出了航道两侧防沙堤合理间距、长度和堤顶高程的确定原则和方法,为粉沙质海岸港口建设奠定了基础。研究成果在河北省黄骅港、唐山港京唐港区,山东省潍坊港、滨州港、东营港,江苏省滨海港区,以及巴基斯坦瓜达尔港、印度尼西亚 AWAR 电厂码头等 10 多个港口工程中成功转化应用,取得了显著的社会和经济效益。作者主持承担的“粉砂质海岸泥沙运动规律及工程应用”项目也荣获国家科学技术进步二等奖。

在软弱地基排水固结理论中,中交第四航务工程局有限公司首次建立了软基固结理论模型、强度增长和沉降计算方法,创新性提出了排水固结法加固软弱地基效果主要影响因素;在深层水泥搅拌法(DCM)加固水下软基创新技术中,成功自主研发了综合性能优于国内外同类型施工船舶的国内首艘三处理机水下 DCM 船及新一代水下 DCM 高效施工成套核心技术,并提出了综合考虑基础整体服役性能的施工质量评价方法,多项成果达到国际先进水平,并在珠海神华、南沙三期、香港国际机场第三跑道、深圳至中山跨江通道工程等多个工程中得到了成功应用。研究成果总结整理成为《软弱地基加固理论与工艺技术创新应用》一书。

海上工程中的大量科技创新也带来了显著的经济效益,如《水运工程新型桶式基础结构技术与实践》一书的作者单位中交第三航务工程勘察设计院有限公司和连云港港 30 万吨级航道建设指挥部提出的直立堤采用单桶多隔仓新型桶式基础结构为国内外首创,与斜坡堤相比节省砂石料 80%,降低工程造价 15%,缩短建设工期 30%,创造了月施工进度 651 m 的最好成绩。项目成果之一《水运工程桶式基础结构应用技术规程》(JTS/T167-16—2020)已被交通运输部作为水运工程推荐性行业标准。

其他如总投资 15 亿元、采用全球最大的海上风电复合筒型基础结构和一步式安装的如东海上风电基地工程项目,荣获省部级科技进步奖的“新型深水防波堤结构形式与消浪块体稳定性研究”,以及获得多项省部级科技进步奖的“长寿命海工混凝土结构耐久性保障

相关技术”等,均标志着我国在海上工程建设领域已经达到了一个新的技术高度。

丛书的出版将有助于系统总结这些创新成果和推动新技术的普及应用,对填补国内相关领域创新理论和技术资料的空白有积极意义。丛书在研讨、策划、组织、编写和审稿的过程中得到了相关大型企业、高校、研究机构和学会、协会的大力支持,许多专家在百忙之中给丛书提出了很多非常好的建议和想法,在此一并表示感谢。



2020年10月

邱大洪先生,大连理工大学教授,中国科学院资深院士,海岸和近海工程专家。“新时代海上工程创新技术与实践丛书”编委会主任。

与时代同频,与行业同向。新时代,我国港口工程建设取得了举世瞩目的成绩。交通运输部天津水运工程科学研究所(简称“天科院”)自 1974 年成立以来,围绕国家重大工程建设和国家重大科研领域,先后承担了港珠澳大桥、长江黄金水道、深中通道等千余项国家科技攻关、行业技术标准、重点工程建设项目的研究工作,特别是近 10 年就荣获了 11 项国家科学技术进步奖、4 项国家优质工程奖和 230 余项省部级科技进步奖。为满足行业发展,天科院下属的海洋水动力研究中心创新团队积极开拓创新,对防波堤与护岸工程护面块体进行了一系列研发与应用,研究专题获得专利证书 12 项、部级科技进步奖 3 项,应用于国内外工程 10 余项,产生了巨大经济效益。

本书重点介绍了三项典型新块体的研究成果:

(1) 米字型消浪护面块体。基于行业的技术储备,结合交通运输部基础应用项目“新型深水防波堤结构形式与消浪块体稳定性研究”,科研团队研发了米字型消浪护面块体,并于 2015 年获得国家专利局颁发的实用新型应用证书。该项目获得省部级科技进步奖 1 项、专利 4 项,且块体成功应用在原生态大比尺波浪水槽。大比尺波浪水槽自建成以来,本着“开发共享、合作共赢”的理念,天科院与清华大学、天津大学、河海大学、海军工程设计研究局、国家海洋局南海分局、中国科学院广东能源所等建立了良好的合作关系,开展了涉及远海珊瑚礁建设、波浪-结构物-地基耦合、浮体运动响应机理等 13 项试验工作,试验期间近 1 500 人次进行了参观学习。

(2) 双联消浪护面块体。基于中国全球化进程的不断推进,团队积极响应“一带一路”倡议,承担“21 世纪海上丝绸之路”关键节点 20 多个国家 60%以上的港口工程科研工作,由于受块体使用中专利问题的困扰和制约,以形成自主品牌走出去为目的,团队研发了双联消浪护面块体,在 2009 年获得实用新型专利证书,并成功应用于印度尼西亚 S2P 电厂中资企业中标的破坏修复工程。该工程获得省部级科技进步二等奖 1 项,同时为中国港湾集团有限公司赢得了多个印度尼西亚港口项目,为企业创造了显著的经济效益。

(3) TB-CUBE 消浪护面块体。习近平总书记在考察天津港时指出,“要志在万里,努力打造世界一流的智慧港口、绿色港口”,以及在推动长江经济带发展座谈会上指出,“推动长江经济带发展必须从中华民族长远利益考虑,走生态优先、绿色发展之路”。同时结合交通运输部《深入推进绿色港口建设行动方案》纲要,科研团队研发了 TB-CUBE 消浪护面块体,在 2018 年获得实用新型专利证书,接下来将积极推广块体在港口生态修复和景观建设工程的应用。

本书共 5 章:第 1 章主要针对新型块体的选型和国内外研究现状进行了介绍;第 2~4 章分别针对三种新型块体关键技术开展了物理模型试验研究,并介绍了工程应用情况;第 5 章对新型块体关键技术的应用进行总结和展望。本书系统论述了防波堤与护岸新块体的研发关键技术,为在国内外工程上推广应用提供了基础数据,也为其他类似工程提供了参考借鉴。

本书的出版得到了天科院总工程师兼副院长张华庆的大力支持,尤其在新块体研发过程中,他提出了许多宝贵意见。限于作者的学识及写作水平,错漏之处在所难免,恳请读者指正。

作 者

2020 年 9 月

# 目录

新时代海上工程创新技术与实践丛书  
防波堤与护岸新型消浪护面块体研发  
关键技术及工程应用

第 1 章	绪论 .....	1
1.1	国内外防波堤工程发展现状 / 2	
1.2	防波堤护面块选型分析 / 4	
1.3	国内外相关研究现状 / 7	
1.3.1	抛石斜坡堤 / 7	
1.3.2	人工护面块体 / 7	
1.4	现有护面块体特性对比分析 / 10	
第 2 章	新型米字型消浪护面块体关键技术与工程应用 .....	11
2.1	米字型消浪护面块体概述 / 12	
2.2	关键技术研究 / 16	
2.2.1	物理模型试验 / 16	
2.2.2	试验成果与分析 / 23	
2.3	米字型块体在大比尺波浪水槽的应用 / 49	
2.3.1	概述 / 49	
2.3.2	大比尺波浪水槽 / 51	

第 3 章 新型双联消浪护面块体关键技术与工程应用 ..... 63

- 3.1 双联消浪护面块体概述 / 64
- 3.2 关键技术研究 / 66
  - 3.2.1 物理模型试验 / 66
  - 3.2.2 试验成果与分析 / 69
- 3.3 工程应用 / 81
  - 3.3.1 工程应用概述 / 81
  - 3.3.2 应用工程之一：印度尼西亚 CILACAP(S2P)电厂扩建工程项目 / 81
  - 3.3.3 应用工程之二：印度尼西亚 CILACAP(S2P)电厂破坏修复工程项目 / 89
  - 3.3.4 应用工程之三：印度尼西亚 KARANG TARAJE 港防波堤工程项目 / 94

第 4 章 新型 TB - CUBE 消浪护面块体关键技术研究 ..... 109

- 4.1 TB - CUBE 消浪护面块体概述 / 110
- 4.2 模型试验研究 / 111
  - 4.2.1 试验内容 / 111
  - 4.2.2 试验组次设计 / 112
  - 4.2.3 试验断面确定 / 113
  - 4.2.4 试验设备 / 113
  - 4.2.5 模型设计与制作 / 113
  - 4.2.6 试验方法 / 113
- 4.3 试验结果与分析 / 115
  - 4.3.1 TB - CUBE 块体设计参数测试试验 / 115
  - 4.3.2 TB - CUBE 块体消浪特性试验 / 116

4.3.3	TB-CUBE 块体与现有四脚空心方块体对比 试验 / 128
第 5 章	新型块体关键技术工程应用总结与研究展望 ..... 135
5.1	新型块体关键技术工程应用总结 / 136
5.1.1	关键技术总结 / 136
5.1.2	工程应用总结 / 136
5.2	研究展望 / 137
5.2.1	工程应用方向 / 137
5.2.2	港口与近海岸工程专业方向 / 137
5.2.3	未来研究方向 / 137
参考文献	..... 139