

“十四五”时期国家重点出版物出版专项规划项目

新时代
海上工程
创新技术与实践
丛书

编委会主任

邱大洪

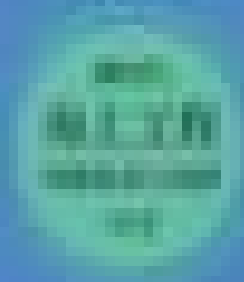
编委会副主任

练继建

水运工程装配式结构
应用技术与实践

李武 程泽坤 郭志鹏 刘朋 著

 上海科学技术出版社



THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
50 EAST LEXINGTON AVENUE
NEW YORK, NY 10017
TEL: 212 850 6645

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

新时代海上工程创新技术与实践丛书
水运工程装配式结构应用技术与实践

图书在版编目 (C I P) 数据

水运工程装配式结构应用技术与实践 / 李武等著
— 上海 : 上海科学技术出版社, 2024. 1
(新时代海上工程创新技术与实践丛书)
ISBN 978-7-5478-6355-8
I. ①水… II. ①李… III. ①航道工程—工程结构—
研究 IV. ①U612.3

中国国家版本馆CIP数据核字(2023)第195427号

水运工程装配式结构应用技术与实践 李 武 程泽坤 郭志鹏 刘 鹏 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
(上海市闵行区号景路159弄A座9F-10F)
邮政编码 201101 www.sstp.cn

印刷

开本 787×1092 1/16 印张 21.75
字数 400千字
2024年1月第1版 2024年1月第1次印刷
ISBN 978-7-5478-6355-8 /U·144
定价: 175.00元

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题, 请向印刷厂联系调换

内容提要

新时代海上工程创新技术与实践丛书
水运工程装配式结构应用技术与实践

本书介绍了水运工程装配式结构的设计方法、施工技术、检验标准及在水运工程中应用实践,内容主要包括水运工程装配式结构的标准构件库建立原则、构件种类定义及使用方法;水运工程装配式结构的设计原则、计算公式、构造措施及防腐等系列设计方法;水运工程装配式结构的预制厂、制作工艺、运输方式、定位安装及监测检测技术等成套施工方法;水运工程装配式结构的质量检验标准和工程实例。

本书是一本较为系统介绍水运工程装配式结构应用技术的专著,可供水运工程领域港航专业技术人员和科研人员参考,也可供高等院校相关专业的师生参考。

重大工程建设关键技术研究 编委会

总主编

孙 钧 同济大学教授,中国科学院院士

学术顾问

邱大洪 大连理工大学教授,中国科学院院士

钱七虎 中国人民解放军陆军工程大学教授,中国工程院院士

郑皆连 广西大学教授,中国工程院院士

陈政清 湖南大学教授,中国工程院院士

吴志强 同济大学教授,中国工程院院士

王 平 西南交通大学教授

刘斯宏 河海大学教授

杨东援 同济大学教授

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

总序

重大工程建设关键技术研究

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多项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,也只有在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工程建设项目为依托,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工程建设的长期、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研究院所、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院、南京水利科学研究院、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%,创造了月施工进尺 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。

改革开放以来,尤其是进入 21 世纪以来,我国港口建设事业取得飞速发展,港口工程技术突飞猛进,国内先后建成了一批可以服务世界最大船舶的集装箱、干散货、原油、邮轮等专业化码头,国外“一带一路”沿线建成了一批现代化码头,在复杂条件下的大型港口基础设施建设技术、自动化码头生产管控技术、绿色港口技术等方面取得丰硕的成果,保障了港口大国地位,但是实现港口强国的目标还需要在技术上进一步突破。目前,港口基础设施建设控制工期主要涉及水工建筑物的建设,快速建设技术的短板主要体现在标准化不足、装配化程度不高。对于水工建筑物,尤其是对开敞水域深厚软土地基条件下的港口基础设施建设,水上作业窗口期短,水上现浇施工期较长,近年来技术逐步向装配化方面发展以缩短工期、保障工程质量和安全。比如,由中交第三航务工程勘察设计院有限公司设计的连云港徐圩港区 64#、65# 两个 10 万 t 级泊位采用模块化装配式高桩码头结构,码头建设工期只用了 6 个月,较常规方案缩短工期 30%;连云港徐圩防波堤项目中,在软土地上采用新型桶式基础防波堤结构,每天一个作业面安装一个桶,推进速度超过 20 m,比常规传统结构建设速度大大提高。为有利于水运工程装配式结构推广应用,提高研究成果转化效率,展示中国水运行业建设的高端技术,编写了本书。本书系统介绍水运工程装配式结构开发过程和在水运工程上应用的关键技术,同时也向世界水运行业工程建设者和学者介绍中国先进技术、优秀方案,促进世界水运工程建设技术水平的新发展。

全书共分为八章:第 1 章介绍水运工程装配式结构研究背景和现状;第 2 章介绍装配式高桩码头标准构件;第 3 章介绍装配式结构设计原则和计算方法;第 4 章介绍装配式高桩码头结构施工方法;第 5 章介绍装配式桶式基础结构施工方法;第 6 章介绍水运工程装配式结构检验标准;第 7 章介绍水运工程装配式结构工程案例;第 8 章展望了水运工程装配式结构还需要深入研究的方向。

全书由李武统稿。第 1 章由李武、程泽坤撰写;第 2 章由江义、郭志鹏、周厚亚撰写;第 3 章由崔磊、刘晓曦、李武、顾宽海撰写;第 4 章由刘鹏、鲁军、王伟、绳彬撰写;第 5 章由郭

志鹏、刘鹏、范旭征博、夏俊桥撰写；第 6 章由陈海峰、崔磊、刘晓曦、李武撰写；第 7 章由李武、盛佳珺、刘晓曦、崔磊撰写；第 8 章由程泽坤、李武撰写。

在本书编写过程中，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江苏分公司、南京水利科学研究院等单位给予了大力支持，对于保证成书质量和进度起到了很大的作用，在此表示感谢。

由于编者水平有限，错漏之处在所难免，望读者批评指正。

作 者

2023 年 9 月

第 1 章	绪论	1
	1.1 水运工程装配式结构发展现状 / 2	
	1.1.1 政策背景 / 2	
	1.1.2 装配式码头结构发展现状 / 3	
	1.1.3 装配式护岸结构发展现状 / 4	
	1.1.4 现状评价 / 5	
	1.2 装配式结构技术优势 / 6	
	1.2.1 质量优势 / 6	
	1.2.2 效率优势 / 6	
	1.2.3 安全性优势 / 6	
	1.2.4 成本控制优势 / 7	
	1.2.5 绿色优势 / 7	
	1.3 装配式结构适用范围 / 7	
	1.3.1 装配式高桩码头结构 / 7	
	1.3.2 装配式桶式基础结构 / 8	
	1.3.3 装配式护岸结构 / 8	
	1.3.4 重力式结构 / 8	
第 2 章	装配式高桩码头标准构件	9
	2.1 装配式高桩码头标准构件类型 / 10	
	2.1.1 标准构件的定义 / 10	

2.1.2	标准构件的种类	/ 10
2.2	装配式高桩码头标准构件设计及其系列族库	/ 11
2.2.1	标准构件系列	/ 11
2.2.2	标准构件信息化管理	/ 18
2.2.3	标准构件设计考虑基本因素	/ 18
2.2.4	标准构件设计流程	/ 20
2.3	装配式高桩码头标准构件施工方法	/ 21
2.3.1	生产预制	/ 21
2.3.2	运输配送	/ 27

第3章 水运工程装配式结构设计 29

3.1	水运工程装配式结构设计原则	/ 30
3.1.1	装配式高桩码头	/ 30
3.1.2	装配式桶式基础防波堤与护岸	/ 32
3.1.3	内河航道装配式护岸	/ 33
3.2	水运工程装配式结构计算方法	/ 34
3.2.1	装配式高桩码头	/ 34
3.2.2	装配式桶式基础防波堤与护岸	/ 70
3.2.3	内河航道装配式护岸	/ 88
3.3	水运工程装配式结构构造设计	/ 107
3.3.1	装配式高桩码头	/ 107
3.3.2	装配式桶式基础防波堤与护岸	/ 109
3.3.3	内河航道装配式护岸	/ 113
3.4	水运工程装配式结构耐久性设计	/ 120
3.4.1	装配式高桩码头耐久性设计	/ 120
3.4.2	装配式桶式基础防波堤与护岸耐久性设计	/ 122
3.4.3	内河航道装配式护岸结构耐久性设计	/ 123

第4章 装配式高桩码头结构施工 125

4.1	装配式高桩码头构件制作场地	/ 126
4.1.1	构件预制厂	/ 126