

重大工程建设关键技术研究

总主编 孙 钧



长大桥梁建养关键技术丛书

编委会主任 郑皆连

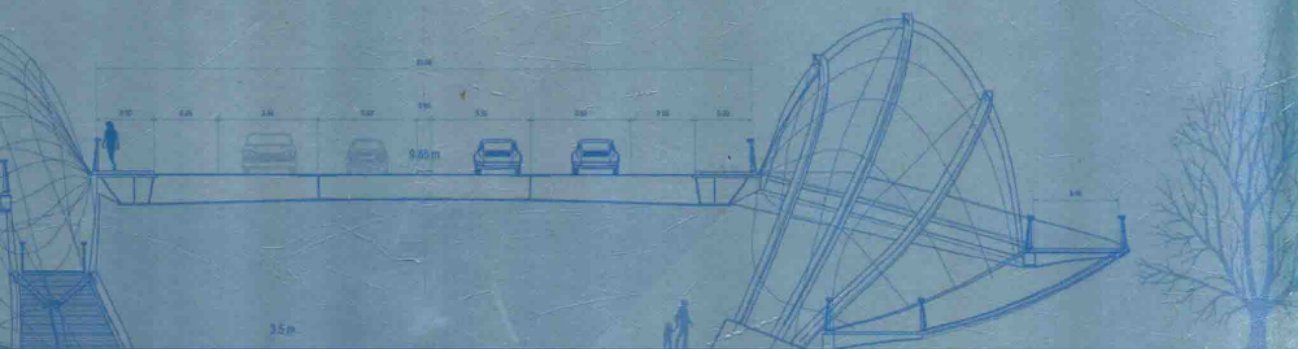
编委会副主任 陈政清

城市桥梁 设计创新与实践

韩振勇

编著

DESIGN INNOVATION AND PRACTICE
OF
URBAN BRIDGE



上海科学技术出版社

重大工程建设关键技术研究

总主编 孙 钧



长大桥梁建养关键技术丛书

丛书

城市桥梁设计创新与实践

韩振勇

编著



上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

城市桥梁设计创新与实践 / 韩振勇编著. —上海:
上海科学技术出版社, 2019.2
(长大桥梁建养关键技术丛书)
ISBN 978-7-5478-4238-6

I. ①城… II. ①韩… III. ①城市桥—桥梁设计
IV. ①U448.152.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 243814 号

城市桥梁设计创新与实践

韩振勇 编著

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)

上海中华商务联合印刷有限公司
开本 787×1092 1/16 印张 18.25 插页 4
字数 430 千字
2019 年 2 月第 1 版 2019 年 2 月第 1 次印刷
ISBN 978-7-5478-4238-6 / U · 74
定价: 160.00 元

内容提要

本书简要介绍城市桥梁建设的特点,以天津的城市桥梁为例,详细介绍近年来城市桥梁的设计创新与实践。

全书共分7章,第1章介绍城市桥梁设计理念以及城市桥梁研究与应用现状;第2~7章分别介绍天津海河上的大沽桥、直沽桥、金阜桥、赤峰桥、富民桥、吉兆桥等6座城市桥梁的设计创新与工程实践,每章分别包括桥梁方案设计、桥梁结构设计及分析、桥梁构造设计及试验研究、施工关键技术研究等内容。

本书是作者科研团队多年来研究成果和工程应用的集成,主要面向从事桥梁设计、施工、管理的工程技术人员,也可以作为高等院校相关专业师生的学习参考书。

重大工程建设关键技术研究

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

长大桥梁建养关键技术丛书

编委会

主任

郑皆连

副主任

陈政清

委员(以姓氏笔画为序)

王用中 华旭刚 刘旭锴 孙利民 李永乐
李贤琪 张宇峰 张喜刚 陈宜言 邵旭东
胡建华 徐恭义 高宗余 韩振勇

本书

编审委员会

主任

韩振勇

副主任

张振学

参编人员

王秀艳 王振南 洪 全 周凤先

王 楠 张 琳 王 英

审定人员

井润胜 汤洪雁 崔志刚

重大工程建设关键技术研究

总 序

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以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,也只有的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面。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,也存在各自间的不同,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、西堠门大桥、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)、工程使用全生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,桥梁设计施工专家;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、上海建工集团有限公司、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。



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。

长大桥梁建养关键技术丛书

序

随着高速公路、高速铁路建设的快速发展,我国桥梁建设不断向大跨、重载、新材方向发展,高铁桥梁、大跨公路桥梁、跨海大桥不断刷新着世界纪录。截至 2016 年底,我国有公路桥梁 80 余万座、铁路桥梁 20 余万座,桥梁数量已位居世界第一。目前已建成的苏通大桥、江阴大桥、杭州湾大桥、西堠门大桥、万县长江大桥等一大批桥梁,在跨径、技术难度和建设质量方面均处于世界同类桥梁前列。同时主持或参与建设的一批国际知名桥梁工程,如马来西亚槟城二桥、巴拿马运河三桥、塞尔维亚泽蒙-博尔察大桥、新奥克兰海湾桥等,也荣获了多项著名国际大奖。

长大桥梁建设技术是体现一个国家桥梁建设水平的重要标志。在自主建设的基础上,我国桥梁技术在勘察设计、施工技术、建设管理、安全保障和新材料新装备应用等方面都取得了一批自主创新成果,各种大跨径梁式桥、拱桥、斜拉桥、悬索桥等大型桥梁建设技术得到了快速发展。为了更好地促进重大工程建设关键技术的推广和应用,编委会遴选了近年在重大工程特大跨度悬索桥、跨海长大桥、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、新型城市桥梁等领域取得的创新成果和技术,围绕长大桥梁的设计创新理论、施工创新技术、建设难点的突破、桥梁结构健康监测与状态评估、运营期维修养护等方面,以学术专著的形式介绍这些技术难度较高的长大桥梁在设计、施工、监测与养护,以及结构与振动控制理论、风险评估等方面的创新成果和核心技术。

丛书中涉及和介绍的一些创新成果在国内均属于首创,有的已形成具有自主知识产权的核心技术。例如,由广西大学郑皆连院士研发并首先应用和推广的缆索吊装斜拉扣挂施工技术,是现代大跨径钢管混凝土拱桥的主流施工方法,也极大地推动了拱桥的建设。在此基础上,针对 500 米级钢管混凝土拱桥建造面临的挑战,郑皆连院士又创新性地提出了大型钢管混凝土结构真空辅助灌注管内混凝土技术、500 米级钢管混凝土

拱桥的制造安装成套技术,研发了全隔离和全防腐的吊杆拉索,形成了 500 米级钢管混凝土拱桥设计、制造、施工核心技术。湖南大学针对大跨度人行桥的抗风及人致振动等动力问题,提出的大比例变宽度空间索面悬索桥体系以及开发的新型电涡流阻尼减振技术,在多个超大跨度人行桥中进行了应用,取得了较好的效果。中交公路规划设计院结合嘉绍大桥、港珠澳大桥的建设经验,在多塔斜拉桥适宜结构体系及关键装置、超大型深水基础、超高组合桥塔技术等方面均取得了较大的成果。中铁大桥勘测设计院以全国工程设计大师徐恭义为首的桥梁设计团队,通过武汉杨泗港长江大桥、连镇铁路五峰山长江大桥、泰州长江大桥、镇江长江大桥和鹦鹉洲长江大桥等悬索桥工程的建设,在特大跨度悬索桥设计、施工中取得了重大突破和创新成果。江苏交通科学研究院在役长大桥梁安全与健康国家重点实验室的研究团队多年来在桥梁结构健康监测与状态评估领域进行了持续的研究,其成果被应用于 7 座长江大桥在内的国内 30 余座大桥的健康监测系统的设计与实施中。天津城建院在城市桥梁结构体系及细部构造等方面的创新,以及新技术、新材料等的应用,也得到了业内的广泛认可。

桥梁建设虽然在诸多方面取得了很大的成就,但与发达国家相比,在创新设计理念、耐久性、高性能材料、标准规范、专业化人才队伍等方面还存在不足,一些基础理论研究和共性关键技术尚需突破。这套书作为长大桥梁建设关键技术的代表,期望起到以点带面的作用,在促进关键技术推广应用的同时,为先进技术的发展和提高起到积极的促进作用。在新一轮科技革命和产业变革加速演进,重大颠覆性创新不断涌现的今天,更需要专家和学者重视创新技术的总结、推广和应用。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供了很多好的建议和想法。尤其是亲自参与书稿编写工作的专家学者,他们在繁忙的工作之余牺牲了自己的休息时间,为技术成果的总结出版奉献了自己的智慧和汗水,在此一并表示感谢。

陈政清

2017 年 11 月

陈政清先生,湖南大学资深教授,中国工程院院士,桥梁工程专家。“长大桥梁建养关键技术丛书”主编。

前言

本书作为“长大桥梁建养关键技术丛书”之一,旨在为广大桥梁建设技术人员提供一本可指导城市桥梁设计、施工的技术性参考书。

近年来,随着世界经济快速发展,人们对城市桥梁的美学景观要求越来越高,各种与生态环境、历史文化及美学景观融合的复杂桥型应运而生,越来越多基于新理念、新材料和新体系的城市桥梁不断涌现。相对于公路桥梁,城市桥梁在满足交通功能的基础上,更注重桥梁的景观效果,同时还应兼顾城市历史文化、建筑风格以及桥位周边的规划和环境等因素。欧美、日本等发达国家和地区表现尤为突出,设计师们在新型城市桥梁设计中注重桥梁与环境相协调,融入人性化的设计理念,且根据不同的地形条件,因地制宜,设计出许多造型优美、极具特色的景观桥梁。当前,我国城市桥梁建设日新月异,而天津作为国际现代化大都市,在海河综合开发改造过程中提出了“城市桥梁”概念,并做了大量突破性的尝试。设计师们根据不同的桥位和交通需求,尝试城市桥梁的多样性,融入建筑美学元素,与周边环境相协调,强调以人为本,重视亲水设计,突出行人在桥上行走的体验。

作者多年来一直致力于城市桥梁的设计与施工工作,以本书所述天津海河大沽桥、直沽桥、金阜桥、赤峰桥、富民桥、吉兆桥等6座城市桥梁建设为依托,主持多项国家级、省部级科技攻关项目,获国家科技进步二等奖、天津市科技进步一等奖等奖项,主持设计施工的桥梁获国际桥梁大奖——尤金·菲戈奖、全国优秀工程勘察设计银质奖、中国建设工程鲁班奖、中国土木工程詹天佑奖等奖项。

本书是作者所带领的研究团队多年来理论成果和工程应用的总结,主要面向具有一定工程经验的技术人员,注重创新与实践,力求图文并茂,以实际工程案例的形式方便读者理解和掌握。

本书部分成果来自作者所主持的科研项目,工程设计案例均来自天津城建设计院

有限公司主持设计的桥梁,大部分工程施工案例来自天津城建集团及所属公司主持施工的桥梁。天津城建集团及所属公司、天津城建设计院有限公司、同济大学、清华大学、华中科技大学、天津大学等单位为作者的相关研究提供了大力支持,并提出了很多有益的建议,作者对参与本书内容研究的合作者表示衷心的感谢!

当前,我国城市桥梁建设仍处于不断积累和高速发展的阶段,由于时间仓促和作者认识上的局限性,本书疏漏和不当之处在所难免,恳请广大读者不吝赐教,以便再版时修正、提高。

作 者

2019 年 1 月

目 录

第1章

1

绪论

1.1 城市桥梁设计理念	1
1.2 城市桥梁研究与应用现状	2

第2章

3

天津海河大沽桥

2.1 桥梁方案设计	4
2.1.1 工程建设条件	4
2.1.2 桥梁方案构思	4
2.2 桥梁结构设计及分析	5
2.2.1 工程概况	5
2.2.2 结构设计	6
2.2.3 整体计算分析	11
2.3 桥梁构造设计及试验研究	13
2.3.1 构造设计	13
2.3.2 吊杆连接构造疲劳试验	15
2.4 施工关键技术研究	16
2.4.1 主拱安装	17
2.4.2 体系转换施工	24
2.4.3 厚板焊接变形控制	33
2.4.4 环氧沥青铺装	37
2.4.5 成桥试验	38

第3章

39

天津海河直沽桥

3.1 桥梁方案设计	40
3.1.1 工程建设条件	40
3.1.2 桥梁方案构思	40
3.2 桥梁结构设计及分析	41
3.2.1 工程概况	41
3.2.2 结构设计	43
3.2.3 整体计算分析	43
3.3 桥梁构造设计及试验研究	45
3.3.1 构造设计	45
3.3.2 试验研究	54
3.4 施工关键技术研究	70
3.4.1 吊杆张拉控制	70
3.4.2 双曲面钢拱肋制作成型工艺	71
3.4.3 叶片及弧形梁连接片制作成型工艺	75
3.4.4 空间斜向变截面钢拱的安装工艺	78
3.4.5 钢拱桥施工体系转换研究	83

第4章

88

天津海河金阜桥

4.1 桥梁方案设计	88
4.1.1 工程建设条件	88
4.1.2 桥梁方案构思	88
4.2 桥梁结构设计及分析	91
4.2.1 工程概况	91
4.2.2 结构设计	93
4.2.3 结构受力优化分析	100
4.2.4 整体计算分析	103
4.3 桥梁构造设计及试验研究	105
4.3.1 大吨位拉压剪支座设计及试验研究	106
4.3.2 撑杆设计及试验研究	107
4.3.3 铝合金桥面板性能试验研究	107
4.4 施工关键技术研究	110
4.4.1 施工整体工序研究	110