



“十二五”国家重点出版物出版规划项目
海岸河口工程研究论丛

港珠澳大桥

涉海工程技术研究

韩西军 杨树森 李孟国 闫勇 著

STUDY ON
THE SEA ENGINEERING TECHNOLOGY OF
HONG KONG-ZHUHAI-MACAO BRIDGE



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.



“十二五”国家重点出版物出版规划项目
海岸河口工程研究论丛

港珠澳大桥 涉海工程技术研究

韩西军 杨树森 李孟国 闫勇 著

STUDY ON
THE SEA ENGINEERING TECHNOLOGY OF
HONG KONG-ZHUHAI-MACAO BRIDGE



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书收录了在港珠澳大桥工程预可行性研究、工程可行性研究、初步设计及大桥建设期四个重要阶段的几项有代表性的科研成果,主要包括本海区的自然条件、港珠澳大桥对珠江口港口及航道影响研究、西人工岛工程、岛隧掩护工程及管节沉放工程等相关研究内容,优化了部分设计施工方案,为港珠澳大桥建设提供了技术支持和科学依据。本文对主要研究项目的技术路线和基本方法进行了概括和总结,可供其他类似工程和科研项目参考。

本书适合从事海岸河口工程研究的科技人员和港口、海岸及近海工程专业高校学生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

港珠澳大桥涉海工程技术研究 / 韩西军等著. — 北京:人民交通出版社股份有限公司, 2016.6

ISBN 978-7-114-12773-1

I. ①港… II. ①韩… III. ①跨海峡桥—桥梁工程—研究—中国 IV. ①U448.19

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 020239 号

书 名: 港珠澳大桥涉海工程技术研究

著 作 者: 韩西军 杨树森 李孟国 闫 勇

责任编辑: 韩亚楠 崔 建

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 720×960 1/16

印 张: 26.5

字 数: 465 千

版 次: 2016 年 6 月 第 1 版

印 次: 2016 年 6 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-12773-1

定 价: 78.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

序

海岸、河口是陆海相互作用的集中地带,自然资源丰富,是经济发达、人口集居之地。以我国为例,我国大陆海岸线北起辽宁省的鸭绿江口,南至广西的北仑河口,全长 18000km;我国海岸带有大大小小的入海河流 1500 余条,入海河流径流量占全国河川径流总量的 69.8%,其中流域面积广、径流大的河流主要有长江、黄河、珠江、钱塘江、瓯江等。海岸河口地区居住着全国 40% 左右的人口,创造了全国 60% 左右的国民经济产值,长三角、珠三角、环渤海等海岸河口地区是我国经济最为发达的地区,是我国的经济引擎。

人类在海岸河口地区从事经济开发的生产活动涉及到很多的海岸河口工程,如建设港口、开挖航道、修建防波堤、围海造陆、保护滩涂、治理河口、建设人工岛、修建跨(河)海大桥、建造滨海火电厂和核电厂等等,为了使其经济、合理、可行,必须要对环境水动力泥沙条件有一详细的了解、研究和论证。人类与海岸河口工程打交道是永恒的主题和使命。

交通运输部天津水运工程科学研究院海岸河口工程研究中心的前身是天津港回淤研究站,是专门从事海岸河口工程水动力泥沙研究的专业研究队伍。致力于为港口航道(水运工程)建设和其他海岸河口工程等提供优质的技术咨询服务,多年来,海岸河口工程研究中心科研人员的足迹遍布我国大江南北及亚洲的印尼、马来西亚、菲律宾、缅甸、越南、柬埔寨、伊朗和非洲的几内亚等国家,研究范围基本覆盖了我国海岸线上大中型港口及各种海岸河口工程及亚洲、非洲一些国

家的海岸河口工程,承担了许多国家重大科技攻关项目和 863 项目,多项成果达到国际先进水平和国际领先水平并获国家及省部级科技进步奖。海岸河口工程研究中心对淤泥质海岸泥沙运动规律、粉沙质海岸泥沙运动规律和沙质海岸泥沙运动规律有深刻的认识,在淤泥质海岸适航水深应用技术、水动力泥沙模拟技术、悬沙及浅滩出露面积卫星遥感分析技术等方面无论在理论上还是在实践经验上均有很高的水平和独到的见解。中心的一代代专家们为大型的复杂的项目上给出正确的技术论证和指导,使经优化论证的工程方案得以实施。如珠江口伶仃洋航道选线研究、上海洋山港选址及方案论证研究、河北黄骅港的治理研究、江苏如东辐射沙洲西太阳沙人工岛可行性及建设方案论证、瓯江口温州浅滩围涂工程可行性研究、港珠澳大桥对珠江口港口航道影响研究论证、天津港各阶段建设回淤研究、田湾核电站取排水工程研究等等,事实证明这些工程是成功的。在积累的成熟技术基础上,主编了《淤泥质海港适航水深应用技术规范》、《海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程》、《海港水文规范》泥沙章节、参编《海港总体设计规范》和《核电厂海工构筑物设计规范》等。

本论丛是交通运输部天津水运工程科学研究所海岸河口工程研究中心老一辈少一辈专家学者多年来的水动力泥沙理论研究成果、实用技术和实践经验的总结,内容丰富、水平先进、科学性强、技术实用、经验珍贵,涵盖了水动力泥沙理论研究,物理数学模型试验模拟技术研究,水沙研究新技术、水运工程建设、河口治理、人工岛开发建设实例介绍等海岸河口工程研究的方方面面,对从事本行业的技术人员学习和拓展思路具有很好的参考价值,是海岸河口工程研究领域的宝贵财富。

本人在交通运输部天津水运工程科学研究院工作 20 年(1990~2009 年),曾经是海岸河口工程研究中心的一员,我深得老一

代专家的指导,同辈人的鼓励和青年人的支持,我深得严谨治学、求真务实氛围的熏陶、留恋之情与日俱增。今天,非常乐见同事们把他们丰富的研究成果、实践经验、成功的工程范例著书发表,分享给广大读者。相信本论丛的出版将会进一步丰富海岸河口水动力泥沙学科内容,对提高水动力泥沙研究水平,促使海岸河口工程研究再上新台阶有推动作用。希望海岸河口工程研究中心的专家们有更多的成果出版发行,使本论丛的内容越来越丰富,也使广大读者能大受裨益。

交通运输部科技司司长

Handwritten signature in black ink, reading '赵义忠' (Zhao Yizhong).

2012 年 11 月

前 言

港珠澳大桥跨越珠江口伶仃洋海域,连接香港、珠海及澳门,是中国首座涉及“一国两制”三地的跨海大桥。大桥建成后,将改变香港和澳门之间无陆路通道的局面,增强港澳之间的联系,有利于香港和澳门的持续繁荣和发展,也可以进一步改善珠三角西部地区的投资环境。港珠澳大桥是具有国家战略意义的世界级跨海通道。

自2008年开始,我院承担了港珠澳大桥工程前期、工可深化研究与初步设计及施工期等三个重要阶段的多项科研工作,主要内容如下:

1. 前期阶段

(1)2008年,港珠澳大桥沉管隧道基槽施工方案边坡稳定性、二维潮流数模及泥沙淤积计算综合论证分析。

(2)2009年,港珠澳大桥珠澳口岸人工岛填海工程二维潮流数学模型及泥沙冲淤分析研究。

2. 工可深化研究与初步设计阶段

2009—2010年,港珠澳大桥对珠江口港口、航道影响研究,含4个专题:

(1)港珠澳大桥工程海床演变分析研究。

(2)港珠澳大桥工程方案二维潮流悬沙数学模型研究。

(3)港珠澳大桥工程方案人工岛及桥墩局部动床冲刷物理模型试验研究。

(4)港珠澳大桥工程方案潮流泥沙整体物理模型试验研究。

3. 施工期阶段

(1)2011 年,港珠澳大桥岛隧工程西岛钢圆筒施工期二维潮流数值分析。

(2)2011 年,港珠澳大桥岛隧工程西人工岛钢圆筒打设施工期三维潮流数值模拟计算分析研究。

(3)2011 年,港珠澳大桥岛隧工程西岛钢圆筒施工期局部动床物理模型试验研究。

(4)2011—2012 年,港珠澳大桥西人工岛岛隧结合部掩护体工程方案二维潮流数值模拟计算分析研究。

(5)2011—2012 年,港珠澳大桥西人工岛岛隧结合部掩护体工程方案潮流及局部动床冲刷物理模型试验研究。

(6)2013 年,碎石基床稳定性及掩护体最终方案试验研究。

已获得应用的科研成果如下:

(1)港珠澳大桥对珠江口港口航道影响研究

在 2008—2010 年大桥工可深化研究与初步设计阶段,我院开展了“港珠澳大桥对珠江口港口航道影响研究”专题的研究。从维护伶仃洋“三滩两槽”稳定性和尽可能减轻工程对珠江口港口航道水沙环境影响的角度出发,通过多组方案的比选及优化试验,最终确定的桥—岛—隧工程布置方案对广州港南沙港区及伶仃航道、深圳港西部港区及铜鼓航道的水流条件与回淤环境基本没有不利影响,使港珠澳大桥工可阶段的设计方案更趋合理和完善。以桥、隧、人工岛方案优化为例,在模型试验的指导下,该人工岛由原来的长条形调整为椭圆形并最终优化为贝壳形,其迎水面宽度从最初的 1000m 缩短为 625m。研究成果确定了合理隧道长度、隧道人工岛位置、形状和尺度、非通航孔跨度组合、桥墩及人工岛局部防冲刷措施等内容。上述研究成果已被

港珠澳大桥建设施工中采用。

(2) 港珠澳大桥岛隧工程西岛钢圆筒施工期专题研究

开展本专题研究,主要是为了论证对已开挖至-16m基槽内在钢圆筒打设过程中采用碎石平铺护底的合理性。通过我们的研究,很好地解决了这种整体护底的问题。按照我们提出的不护底推荐方案,可以大大减小施工难度,缩短工期,节约工程投资。建设方采纳了我们的推荐方案,比原方案节约了1亿元资金。

(3) 港珠澳大桥西人工岛岛隧结合部掩护体工程方案研究

港珠澳大桥海底隧道施工是当今世界上最难的海底隧道工程,而岛隧结合部的第一管节施工更是难中之难。面对工程海区苛刻的作业“气象窗口”,工程建设者能做的就是尽量营造一个良好的人工小环境,最大限度地降低施工难度。本项研究就是在这样的背景下提出的。本文的推荐方案是在先后共4个阶段、7大组方案、几十组方案的基础上不断优化得出的掩护效果最好、经济合理的方案。第一管节沉放安装实践表明,该水域的水流条件完全达到了设计标准。

根据前一阶段的研究工作,摘取其中几个典型科研成果,分别按“绪论、自然条件、港珠澳大桥对珠江口港口、航道影响研究、西人工岛工程、岛隧掩护工程及管节沉放工程”等几部分编成此书,供读者参考使用。

由于作者的水平有限,书中不当之处在所难免,敬请读者不吝赐教。

著者

2016年1月

目 录

第 I 篇 概 述

1 研究背景	3
2 研究现状	5
2.1 港珠澳大桥工程进展	5
2.2 天科院参与的主要工作	5
3 涉海工程主要问题和技术	6
3.1 对珠江口水沙的影响	6
3.2 西人工岛工程	6
3.3 沉管下潜与对接	7
4 主要工作及技术创新点	8
4.1 主要工作	8
4.2 创新点	9
5 资料依据	11
5.1 水文资料	11
5.2 地形资料	11
5.3 底质资料	12
本篇参考文献	13

第 II 篇 自然条件

1 水动力特征	19
1.1 径流和输沙	19
1.2 潮汐	19
1.3 潮流	22
1.4 波浪	39
2 泥沙特征	40
2.1 含沙量	40
2.2 底质	43

3 盐度分布特征	47
4 伶仃洋海域岸滩演变分析	51
4.1 近百年来伶仃洋滩槽演变基本特征	51
4.2 近30年来伶仃洋滩槽演变特征	53
4.3 桥区附近滩槽演变特征	65
5 基本结论	70
本篇参考文献	73

第Ⅲ篇 港珠澳大桥对珠江口港口、航道影响研究

1 二维潮流悬沙数学模型研究	77
1.1 二维潮流数学模型	77
1.2 二维悬沙数学模型	78
1.3 地形冲淤数学模型	79
1.4 计算域的确定、网格剖分、有关参数的确定及处理技术	80
1.5 模型验证	84
1.6 工程海区现状流场分布	105
1.7 工程方案计算及结果分析	108
2 人工岛及桥墩局部动床冲刷物理模型试验研究	133
2.1 模型设计	133
2.2 人工岛定床模型潮流验证	137
2.3 人工岛定床模型潮流试验	138
2.4 人工岛动床模型冲刷试验	147
2.5 桥墩动床模型试验	151
3 潮流泥沙动床整体物理模型试验研究	155
3.1 模型比尺确定	155
3.2 潮流验证试验	157
3.3 潮流方案试验	168
3.4 动床泥沙试验	180
4 基本结论	204
本篇参考文献	205

第Ⅳ篇 施工篇之一：西人工岛工程

1 二维潮流数学模型研究	209
2	

1.1	二维潮流数学模型的建立与验证	209
1.2	数值模拟计算及结果分析	217
1.3	主要结论	262
2	西岛钢圆筒施工期局部动床物模试验研究	264
2.1	模型设计	264
2.2	潮流验证试验	271
2.3	动床泥沙方案试验	273
2.4	综合论证对比分析	288
2.5	主要结论	292
	本篇参考文献	294

第 V 篇 施工篇之二:岛隧掩护工程

1	概述	297
1.1	研究目的	297
1.2	试验方案	297
2	数值模拟计算及结果分析	300
2.1	掩护体方案实施前潮流场计算	300
2.2	掩护体方案实施后潮流场计算	302
2.3	掩护沉管 E1 段所需掩护体长度计算	309
2.4	沉管 E1 和 E2 回填防护实施后计算	314
2.5	主要结论	325
3	潮流定床物理模型试验研究	327
3.1	基槽开挖及沉管方案布置	327
3.2	试验工况	328
3.3	方案试验结果分析	331
3.4	主要结论	341
	本篇参考文献	342

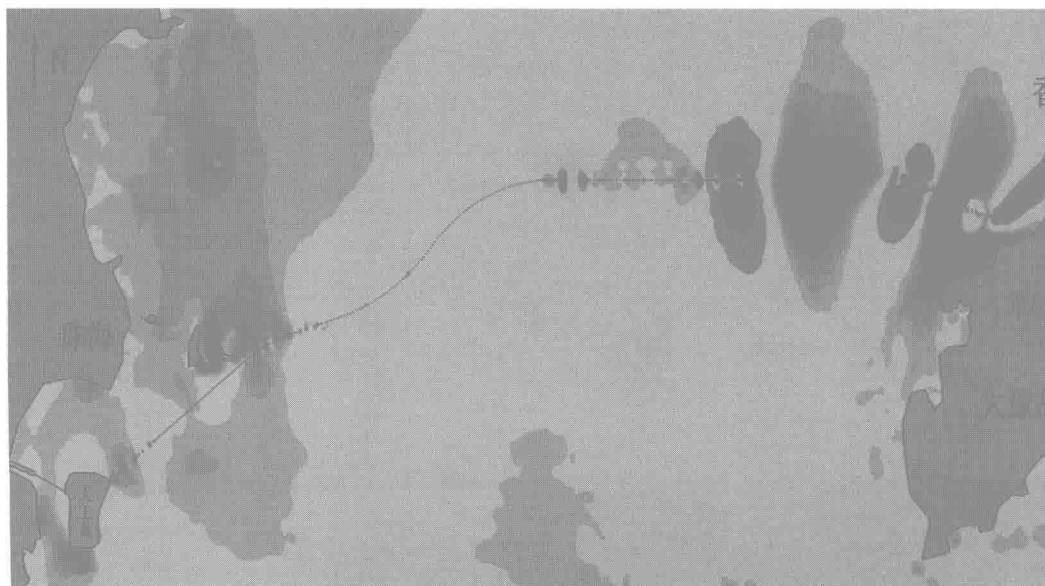
第 VI 篇 施工篇之三:管节沉放工程

1	概述	345
1.1	研究目的	345
1.2	方案 1 布置	345

1.3 研究内容	346
2 恒定流方案试验	347
2.1 试验基本条件	347
2.2 试验结果分析	348
2.3 综合对比分析	360
3 潮流方案试验	362
3.1 试验基本条件	362
3.2 流速平面分布试验结果分析	362
3.3 槽内沿程流速分布试验结果分析	368
3.4 综合对比分析	381
4 边坡稳定试验	383
4.1 试验工况及边界	383
4.2 E2 管节边坡稳定性试验	384
4.3 E3 管节边坡稳定性试验	386
5 补充方案试验	388
5.1 试验内容	388
5.2 方案布置	388
5.3 流场变化	390
5.4 恒定流流速变化	393
5.5 潮流流速变化	399
5.6 小结	404
6 基本结论	406
本篇参考文献	408

第 I 篇

概 述



1 研究背景

港珠澳大桥跨越珠江口伶仃洋海域,是连接香港特别行政区、广东省珠海市、澳门特别行政区的大型跨海通道(见图 1-1-1)。其主要功能是解决香港与内地(特别是珠江西岸地区)及澳门三地之间的陆路客货运输需求,建立连接珠江东西两岸新的陆路运输通道。项目建成后,将从根本上改变珠江西岸地区与香港之间的客货运输以水运为主和陆路绕行的状况,粤港澳周边 100 多个城镇将纳入同一个 3h 车程辐射圈内,从而改善广东省珠江三角洲西部地区的投资环境,并为香港持续繁荣和稳定发展创造条件。此外,项目建设后还将改变香港和澳门之间无陆路通道的局面,增强港澳之间的联系,有利于澳门的繁荣和发展。港珠澳大桥是具有国家战略意义的世界级跨海通道。



图 1-1-1 港珠澳大桥形势图

路线起点位于香港大屿山石散石湾附近,路线沿西南方向布线,后经粤港分

界线,路线向西经东人工岛,沿 23DY 油轮锚地北侧,下穿铜鼓航道和伶仃西航道,进入长约 6km 的海底隧道,出隧道经西人工岛后路线继续往西,跨青州航道桥,跨江海直达船航道桥,跨九洲航道桥,再经珠海口岸分别与珠海口岸与澳门口岸连接,主线全长约 29.5km(见图 1-1-2)。

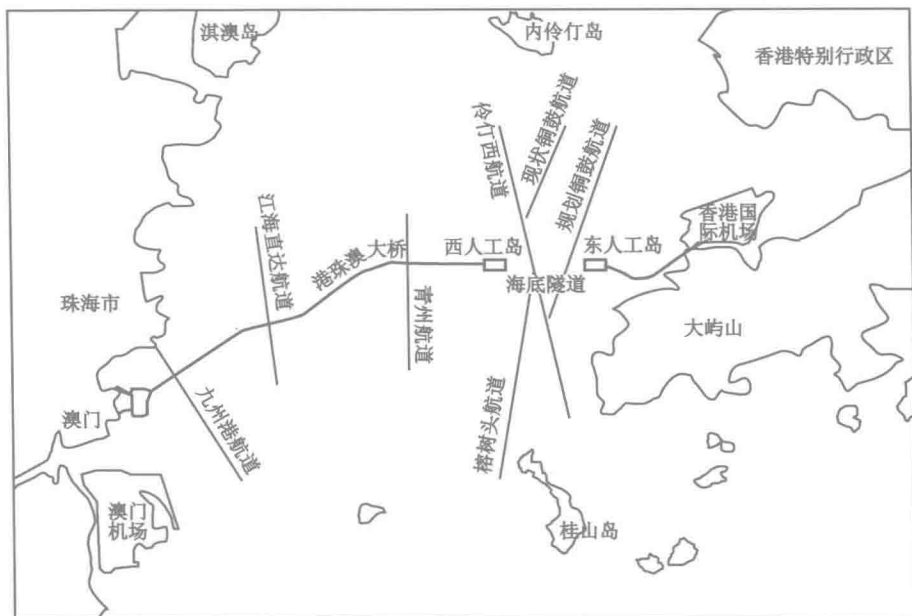


图 1-1-2 港珠澳大桥总平面图