

HUMEN DAQIAO GONGCHENG

虎门大桥工程

第二册

悬索桥

牛和恩 主编



0508712

人民交通出版社

654556

内 容 提 要

本书共分三篇,第一篇介绍虎门大桥悬索桥总体、索塔、锚碇、索鞍、主缆、猫道、索夹、吊索、加劲梁、钢桥面铺装、防护涂装等的设计方法和内容;第二篇详细地介绍悬索桥施工步骤、方法及新工艺;第三篇介绍悬索桥在设计、施工过程中所进行的主要科学研究,如悬索桥抗风,主缆、钢箱梁制作和架设工艺,大型专用设备研制,竣工验收试验等。

本书可供桥梁工程设计、施工、监理、科研、养护技术人员和高等院校桥梁工程专业师生阅读、参考。

责任编辑:王应荣 封面设计:王 炬

图书在版编目(CIP)数据

虎门大桥工程/牛和恩主编.-北京:人民交通出版社,1998.12

ISBN7-114-03151-3

I. 虎… II. 牛… III. 公路桥:悬索桥-桥梁工程-广东-虎门
IV. U448.14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 25022 号

虎门大桥工程

第二册

悬索桥

牛和恩 主编

责任印制:孙树田

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号)

各地新华书店经销

北京牛山世兴印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:39.75 插页:4 字数:1002 千

1998 年 12 月 第 1 版

1998 年 12 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001-2100 册 共四册 定价:260.00 元 本册定价:130.00 元

ISBN 7-114-03151-3

U · 02256

虎门大桥顾问委员会

主 任 李国豪

副主任 曾 威

委 员 (以姓氏笔画为序)

万珊珊	王伯惠	石 洞	孙 钧	先立志
岑国基	张乃华	杨 健	范立础	周世忠
项海帆	胡匡璋	姚玲森	钱冬生	顾安邦
程庆国	谢邦珠	谢瑞振	强士中	蔡国宏

《虎门大桥工程》编委会

主 编 牛和恩

副主编 郑启瑞

编 委 (以姓氏笔画为序)

文发明 刘刚亮 刘陌生 杨学年 杨高中

陈国清 郑玉书 郑明珠 郑家庆 林荣有

赵华明 胡春波 洪德昌 唐嘉衣 曾 苏

曾宪武 谢经纬 楼庄鸿 蔡国宏

编审小组 楼庄鸿(组长) 蔡国宏 刘陌生 李霄萍

《虎门大桥工程》第二册(悬索桥)各篇主编、主审及作者名单

第一篇 设 计

由中交公路规划设计院承担

主 编 郑明珠

主 审 苏善根

作 者

第一章	郑明珠	刘 波	
第二章	郑明珠	沈锐利	刘 波
第三章	娄有原	许春荣	
第四章	逯一新	李正熔	
第五章	郑明珠	沈锐利	刘 波
第六章	郑明珠	刘 波	
第七章	张 克	段玉凤	
第八章	张 诣	郑凯锋	
第九章	刘 波	郑明珠	
第十章	郑明珠	张 诣	
第十一章	郑明珠	张 诣	

第二篇 施 工

由广东长大公路工程有限公司承担

主 编 郑玉书 林荣有 王保君

主 审 林荣有 黄厚璋 王树林

作 者

王树林	黄厚璋	丁进文	任美龙	瞿国万
董 波	曾 洪	姚元国	陈金星	钟荣发
杨共树	宁世伟	彭宏光	刘旭阳	郑全跃
张其毅	戴正宏	尹雪辉	倪宏新	耿希峰
盛赛华	陈仕周	李彦兵	张友光	周建军
高九亭				

提供资料 钟振光 段玉凤 张 克 房金钱 肖 文

第三篇 科 研

主要由交通部公路科学研究所承担

主 编 谢经纬

主 审 张元方

作 者

第一章

第一节 张大名(广东省地震局)

第二节 张子华 颜大棒(北大) 宋锦忠(同济)
周丛青(北航)

第三节 孙 钧(同济)

第四节 吴恒立(重庆交院)

第二章

第一节 杨共树(重庆所)

第二节 邹小燕(重庆所) 官幼平(重庆所)

第三节 陈德荣

第四节 张劲泉 吕建鸣 谢经纬

第五节 梁肇伟

第六节 肖 文(广东长大公司)

第七节 张劲泉 何玉珊 戴正宏 徐君兰
林荣有

第三章

第一节

二、丁晓帆(交通部水运所)

三、王树林(广东长大公司)

第二节 高俊元

第四章 张劲泉 何玉珊 吕建鸣 谢经纬

序 言

虎门大桥是广(州)深(圳)珠(海)高速公路上跨越珠江出海口的一座特大桥,是联结珠江三角洲东西两岸,广东沿海东西两翼,深圳、珠海两经济特区之间的公路交通枢纽。大桥的建设,对增进珠江三角洲之间及与香港、澳门之间的交通往来,促进珠江三角洲经济的发展,对深圳、珠海特区的建设,香港、澳门地区的繁荣稳定有着十分重要的作用。工程是在小平同志 1992 年南巡讲话精神的鼓励下,广东省政府于当年开工建设的,于 1997 年 6 月建成通车,对迎接香港回归祖国,有着重大的历史意义。

虎门大桥是中国人自主建设的、工程宏大并具有世界先进水平的特大桥。主航道桥是国内首座规模最大的悬索桥,在世界大跨度桥梁中排有名次,辅航道桥为预应力混凝土连续刚构桥,其跨径居世界梁式桥之冠。主、辅两桥科技含量高,其中有不少技术项目,在我国尚属空白。大桥的建设者胸怀大志,以饱满的热情结合工程建设积极进行技术开发,取得预期的成果,很好地完成了大桥的建设任务。

虎门大桥是改革开放的产物。广东省交通厅在组织大桥的建设中,按照国际接轨的目标要求,推行一系列的建设管理改革。项目建设实行中外合作制,建设管理实行项目法人责任制、施工总承包制及社会监理制,充分发挥建设各方的积极性和创造精神,在省委、省政府和工程所在地各级政府的大力支持下,创出了好的成绩,工程质量优良,工期提前完成,工程结算比国家批准的概算有所节余,为工程建设实现三大控制的目标要求摸索了初步经验。

继虎门大桥之后,在我国一批大跨度大桥相继进行建设,形势喜人,显示出我国大跨度桥梁建设已进入一个新的历史发展时期。交通部根据形势发展要求,及时地对交通建设作出了新的战略部署,把全国跨海湾、海峡及长江、珠江口的公路交通列入跨世纪的规划项目安排研究。为将虎门大桥建设所摸索的初步建设经验及所开发的技术成果推介到新时期的大桥建设中,促进我国大跨度桥梁建设的发展,广东省交通厅组织大桥建设的各单位,共同对大桥工程进行系统的总结,并汇编成册,全书共四册,反映出大桥工程设计、施工、科研、监理及建设管理等方面的建设经验及技术成果。由于虎门大桥工程还属于我国大跨度悬索桥的起步工程,在国内尚无成熟的经验可借鉴,工程建设在摸索中进行,因而所取得的建设经验及成果也是初步的,还需要和全国桥梁建设者一起,进一步探索,不断充实、提高、日臻完善,共同为新时期桥梁建设的发展作出新的贡献。

本总结洋洋百万字误漏难免,尚祈读者指正为幸。

广东省交通厅厅长 牛和恩

1998 年 7 月

前 言

随着我国经济的发展与科学技术的进步,我国桥梁工程也得到迅速发展,许多大江大河海湾需要修建大跨径桥梁,悬索桥是较为理想的一种大跨径桥型。

80年代末,广东省根据公路交通建设的需要,着手收集现代长大跨悬索桥设计施工技术资料。1990年初,广东省公路工程处(虎门大桥工程施工总承包单位的前身)牵头联络省内、外设计、科研单位以及大专院校,组成一个联合体,为广东省汕头海湾大桥提出主桥为跨径438m的预应力混凝土加劲梁悬索桥扩大初步设计。这一桥型方案被决策部门所采用,并已建成,为我国现代大跨径悬索桥的起步作了尝试。

1992年9月,广东省政府批准虎门大桥主航道桥采用跨径为888m 6车道的悬索桥,并要求同年10月份开工,1997年香港回归前建成通车。这项任务对设计、施工单位都是十分艰巨的。在我国尚无大跨径悬索桥设计、施工规范,又缺乏技术资料和经验的情况下,在整个修建过程中,只能依靠国内技术力量,依靠科学技术,摸索前进,终于一举成功,高速、优质建成了大桥,多项技术填补了国内空白,初步摸索出一整套设计和施工经验。系统地介绍这些经验,丰富我国正在兴起的长大跨径悬索桥技术宝库,是编写本书的出发点和归宿点。

长大跨径悬索桥属于高新技术性质的桥梁,涉及的专业门类多,本书重点介绍悬索桥新技术、新工艺和主要科研项目的攻关内容,尤其对悬索桥上部大型钢结构件的制造与安装技术作了较为深细的阐述,其目的是为广大的桥梁工作者介绍桥梁技术的最新发展。

本书是一部集体创作的技术文献,参加写作人员都亲身参加过虎门大桥悬索桥设计、施工、科研实践,他们从各个侧面反映悬索桥成套技术,内容具体、丰富,图文并茂,是目前国内第一部系统完整地介绍现代钢悬索桥的技术文献,在国际上也很少见到如此详细的资料报导。

目 录

第一篇 设 计

第一章 概论	3
第一节 自然条件	3
一、气候状况	3
二、水文条件	4
三、地形及地貌	5
第二节 地质情况	6
一、桥位区域地质描述	6
二、工程地质与地震	6
第三节 航运要求	8
一、航运状况	8
二、通航净空	8
第四节 桥位选择	8
第二章 总体设计	9
第一节 技术标准及设计指标	9
一、技术标准	9
二、设计指标	9
第二节 设计规范及标准	10
第三节 设计荷载及组合	10
一、主要设计荷载	10
二、主要荷载组合	11
第四节 结构形式	11
一、桥型选择	11
二、总体布置	12
三、结构型式	12
第五节 结构总体计算分析	14
一、结构计算理论简介	14
二、虎门大桥悬索桥的总体计算分析结果	16
三、对结构总体尺寸的讨论	22
第三章 索塔与基础	24
第一节 东塔基础设计	24
一、地质条件	24
二、基础形式选择	24

三、基础的受力验算及其主要计算结果	25
四、东塔基础的换算结构	26
五、主要材料及力学指标	27
第二节 西塔基础设计	27
一、地质条件	27
二、基础形式选择	27
三、基础的受力验算及其主要计算结果	27
四、主要材料指标及构造要求	29
第三节 索塔塔身设计	29
一、国内外已建或在建的钢筋混凝土索塔	29
二、尺寸的拟定	29
三、荷载及其组合	32
四、塔身计算原则及主要计算结果	33
五、塔柱的配筋及系梁的配索	35
六、主要材料及力学指标	38
第四节 附加设施	39
一、观光平台	39
二、塔顶鞍罩	39
三、塔内升降机及爬梯	39
第五节 施工的主要要求	39
一、塔柱	39
二、系梁	40
第四章 锚碇与基础	41
第一节 概述	41
一、锚碇型式	41
二、锚碇设计的一般步骤	42
第二节 锚碇总体设计	42
一、地质条件	42
二、基础类型及锚固方式	43
三、总体布置	44
四、主要材料	45
第三节 基础设计	45
一、荷载条件	45
二、结构特点	45
三、整体计算	46
四、地下连续墙基础应力验算	46
第四节 主缆锚固系统设计	47
一、锚固系统构造	47
二、锚固系统分析	49
第五节 混凝土锚体设计	50

一、外形设计	50
二、锚块构造及控制截面剪力验算	50
三、锚体内力分析及配筋验算	51
第六节 锚碇混凝土裂缝控制	51
一、基础温差	52
二、浇筑层上下层温差	53
三、控制混凝土温度裂缝的方法	53
第五章 主缆	56
第一节 概述	56
第二节 主缆材料及构造	57
一、钢丝	57
二、索股	57
三、锚头	58
四、缠绕钢丝	59
第三节 结构设计与受力分析	60
一、设计基本参数的确定	60
二、成桥线形及计算分析方法	61
三、主缆系统设计计算	63
四、虎门大桥悬索桥计算结果	64
五、制作长度计算	66
第四节 施工架设过程计算分析	67
一、施工计算的作用	67
二、施工计算分析方法	67
三、施工控制	67
第五节 索股及锚头的设计制作要求	68
一、预制索股	68
二、索股锚头	70
第六节 附属设施	71
第六章 吊索	72
第一节 结构布置型式及连接方式	72
一、布置型式	72
二、连接方式	73
第二节 结构设计	74
一、吊索长度的确定	74
二、技术要求、工艺要求及成品检验	75
第三节 结构构造	77
一、材料	77
二、构造	78
第七章 主、散索鞍及索夹	81
第一节 主索鞍概述	81

一、主索鞍分类及其构造形式的选择	81
二、主索鞍的主要构造	83
第二节 散索鞍概述	85
一、散索鞍分类及结构形式的选择	85
二、散索鞍的主要构造	86
第三节 索夹概述	87
一、索夹的类型及主要结构	87
二、索夹的构造要点	88
第四节 结构设计与计算分析	89
一、有关设计参数	89
二、主索鞍的主要设计计算	89
三、散索鞍的主要设计计算	92
四、索夹的设计计算	94
第五节 主、散索鞍和索夹的制造工艺要点	96
一、铸造工艺	96
二、焊接工艺	97
三、热处理	97
四、无损探伤	98
五、缺陷的修补	98
六、机械加工	98
第六节 表面处理及涂装	100
第七节 存放与发运	100
第八节 主、散索鞍及索夹制造工艺流程	101
一、主、散索鞍铸焊方案工艺流程	101
二、索夹制造工艺流程	102
第八章 加劲梁	103
第一节 主体工程	103
一、截面形式的选择	103
二、节段模型试验	103
三、国内外大跨径悬索桥加劲梁截面型式	103
第二节 材料	104
一、钢材	104
二、焊接材料	105
三、螺栓	105
第三节 结构设计与构造	106
一、总体设计	106
二、连接方式	106
三、梁段划分	106
四、结构特点	106
五、支座	111

六、梁端伸缩缝	112
七、临时设施	112
第四节 结构的受力分析及强度、疲劳验算	116
一、计算荷载	116
二、计算分析体系	116
三、主要验算内容	118
第五节 钢箱梁施工方案设计	120
一、钢箱梁的加工工艺流程	120
二、钢箱梁安装方案	121
三、临时联接件设计	121
第六节 附属工程	124
一、防撞护栏及路缘带	124
二、照明灯柱	124
三、维修检查车	124
四、航标指示设备	124
第九章 施工猫道设计	125
第一节 结构构造	125
一、总体布置形式	125
二、猫道承重索	125
三、猫道面层的布置	127
四、抗风系统	127
五、横向走道	128
六、照明及警示设备	128
第二节 猫道用材料	128
一、钢丝绳	128
二、面层材料	129
三、调节拉杆及连接销	129
四、承重索锚头	129
第三节 设计计算	130
一、钢丝绳计算弹性模量取值	130
二、设计荷载	130
三、猫道线形控制	131
四、承重索强度校核	131
五、预埋件及连接件的强度验算	132
第四节 线形调节装置	132
一、线形调节	132
二、拉杆长度及初始位置的确定	133
第五节 体会	133
一、关于施工猫道的施工误差和精度控制	133
二、关于抗风缆的设置问题	133

三、控制猫道对主塔产生的水平力差的问题	134
四、关于承重索直径和面层采用的问题	134
第十章 防腐涂装及抽湿系统设计	135
第一节 综述	135
一、防腐工程的重要意义	135
二、国内外沿海地区桥梁及钢结构涂装概况	135
第二节 虎门大桥悬索桥钢结构防腐涂装要求	136
一、钢箱梁	136
二、主缆	136
三、吊索	137
四、锚碇钢框架	137
五、主索鞍、散索鞍、索夹、支座	137
六、其它	137
第三节 虎门大桥悬索桥防腐涂装设计方案	137
一、设计方案	137
二、实施方案	144
第四节 除湿系统	144
一、概述	144
二、虎门大桥悬索桥的除湿系统	144
第十一章 桥面铺装设计	148
一、钢桥面铺装方案	148
二、虎门大桥悬索桥桥面铺装方案的选择	148
三、虎门大桥悬索桥桥面铺装实施方案	150

第二篇 施 工

第一章 施工概况	153
一、工程规模	153
二、施工场地布置	153
三、施工步骤与顺序	155
四、施工方法及机械设备	156
五、施工工期及施工单位	158
六、施工管理	160
七、造价及主要经济指标	162
第二章 索塔施工	164
第一节 概述	164
第二节 索塔施工测量控制	164
一、索塔施工对测量控制的技术要求	164
二、索塔施工首级控制网与局部控制网的建立与施测	165
三、索塔施工测量控制方法	167
第三节 基础施工	168

一、东塔基础	168
二、西塔基础	173
第四节 塔身施工	174
一、东塔身	174
二、西塔身施工特点	179
三、索塔竣工测量情况	183
第五节 塔顶施工设施	184
一、概述	184
二、塔顶吊机和电梯的设置	184
三、塔顶工作平台	184
四、塔顶门架	187
五、预埋件	189
第三章 锚碇施工	192
第一节 概述	192
第二节 西锚碇施工	192
一、基础	192
二、锚碇体施工	196
三、锚体大体积混凝土施工	199
四、锚碇顶盖的施工	201
第三节 东锚碇施工特点	202
一、基坑开挖及防护	202
二、基础的分块浇筑与连接缝(湿接缝)	206
三、锚碇顶盖施工	207
第四节 锚碇附属工程的施工	207
第四章 索鞍的制造与安装	208
第一节 概述	208
一、主索鞍与散索鞍的数量和质量	209
二、制造单位	209
三、制造技术条件	209
第二节 主索鞍的制造	209
一、主索鞍的功能	209
二、主索鞍的构造	210
三、主索鞍的制造	211
第三节 散索鞍的制造	225
一、散索鞍的功能	225
二、散索鞍的构造	226
三、散索鞍本体的制造特点	227
第四节 索鞍的安装	228
一、主索鞍的安装	228
二、散索鞍的安装	229

三、索鞍安装精度要求	232
四、体会及注意事项	232
第五章 牵引系统设计与施工	233
第一节 牵引系统常用形式	233
第二节 虎门大桥悬索桥主缆牵引系统选择	234
第三节 牵引系统设计	235
第四节 牵引系统架设工艺	245
第五节 牵引系统主要工程数量和施工进度	247
第六节 施工中应注意的问题	249
第六章 猫道系统施工	250
第一节 概述	250
第二节 猫道承重索制作和架设	251
一、猫道承重索制作	251
二、中跨托架系统架设	251
三、猫道承重索架设顺序	252
四、承重索的架设	252
五、猫道承重索标高调整	252
六、托架拆除及支承索上移	252
第三节 猫道面层铺设及横向走道安装	253
一、猫道面层铺设	253
二、横向走道安装	255
第四节 猫道标高调整	255
第五节 猫道抗风缆架设	255
第六节 猫道门架安装	256
第七节 猫道主要材料表	256
第八节 猫道悬挂	257
第九节 猫道拆除	258
一、抗风缆的拆除	258
二、横向走道的拆除	258
三、猫道面层及猫道承重索的拆除	259
第七章 主缆制作与架设	262
第一节 概述	262
一、主缆的组成规模及施工概况	262
二、施工准备	262
三、主缆工程施工程序	264
第二节 索股制作	264
一、标准丝制作	264
二、索股制作	268
三、索股锚头制作	271
第三节 索股架设	273