



港珠澳大桥三塔斜拉桥与 装配式非通航孔桥施工技术

广东省长大公路工程有限公司◎编著

GANGZHUAODAQIAOSANTAXIELAQIAO
YUZHUANGPEISHIFEITONG
HANGKONGQIAOSHIGONGJISHU



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

Gangzhuao Daqiao Santa Xielaoqiao yu Zhuangpei
港珠澳大桥三塔斜拉桥与装配式
Feitonghang Kongqiao Shigong Jishu
非通航孔桥施工技术

广东省长大公路工程有限公司 编著



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

内 容 提 要

本书是关于装配式跨海桥梁建设关键技术的一本专著,主要包括江海直达船航道和深水区非通航孔桥梁建设技术。全书从研究及应用的角度详尽地介绍了各分项工程所涉及的主要施工技术;各章内容相互衔接,又相对独立。本书可作为桥梁工程领域研究、应用和教学的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

港珠澳大桥三塔斜拉桥与装配式非通航孔桥施工技术 /
广东省长大公路工程有限公司编著. —北京:人民交通
出版社股份有限公司, 2017.4

ISBN 978-7-114-13358-9

I. ①港… II. ①广… III. ①单索面斜拉桥—跨海峡
桥—桥梁施工 IV. ①U448.25

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 232833 号

书 名: 港珠澳大桥三塔斜拉桥与装配式非通航孔桥施工技术

著 作 者: 广东省长大公路工程有限公司

责任编辑: 刘永芬

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: 787×1092 1/16

印 张: 16.25

彩 页: 2

字 数: 379 千

版 次: 2017 年 4 月 第 1 版

印 次: 2017 年 4 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-13358-9

定 价: 70.00 元

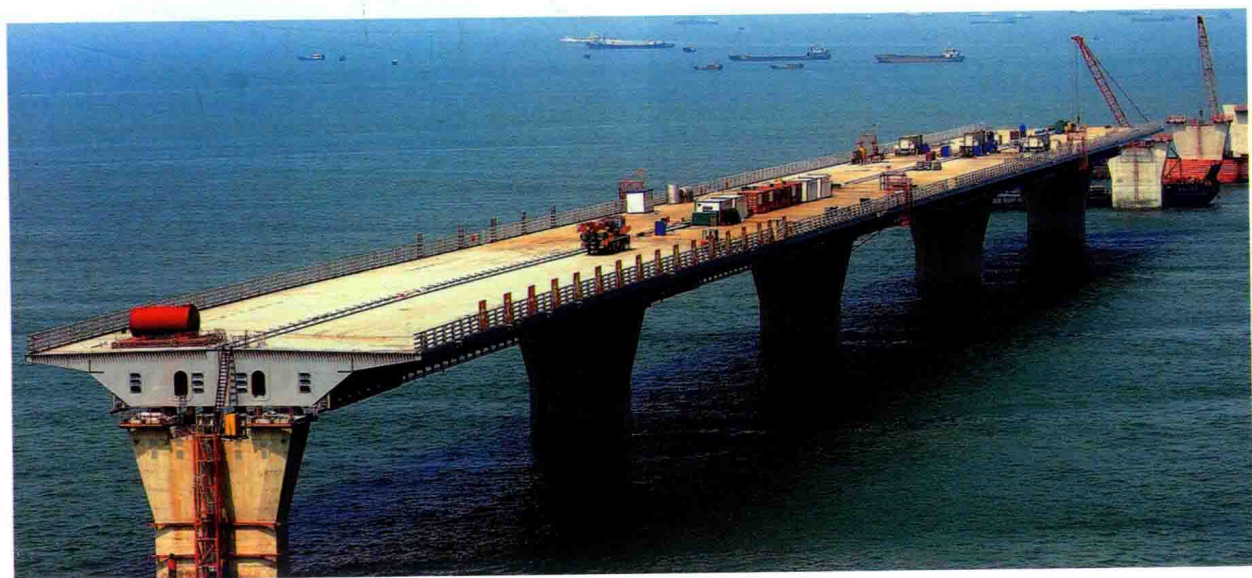
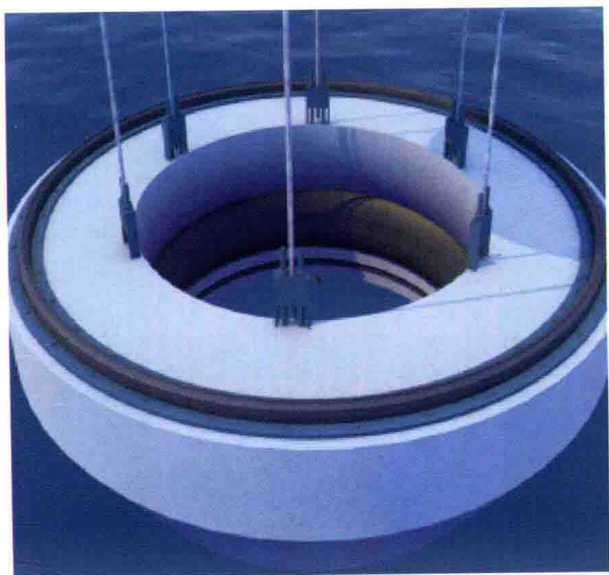
(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)



钢塔吊装



通航孔桥钢箱梁安装



墩台安装



墩台安装

《港珠澳大桥三塔斜拉桥与装配式 非通航孔桥施工技术》

编写委员会

主 编: 刘刚亮

副 主 编: 王中文 陈儒发 余立志 刘宏波

李志生 荣国城 谭 昱

主要编写人员: 罗永传 罗锦鸿 李 斌 彭修权

谭逸波 刘红胜 杨富发 唐 维

汤 明 彭小亮 何振东 邓庆明

陈永青 余玮玮 曾新宏 邓奕泉

Preface

前言

我国于2013年提出了“一带一路”经济体合作新模式战略构想,旨在改善我国与周边新兴经济体的基础设施环境,为我国与周边新兴经济体开辟新的合作机制。为此,加快公路、铁路、航空的互联互通是实现构想的第一要务。

桥梁建设是基础设施建设的重要组成部分。形成与国际接轨的管理目标、核心建设理念、建造技术是我国跻身桥梁强国之列的首要任务,是实现中国“桥梁出海”的生命之源。自东海大桥建成以来,中国桥梁建设实现了从跨江、跨河到跨海的跨越。由粤、港、澳三地政府联合规划投资建设的港珠澳大桥又将使这一跨越得以升华。

港珠澳大桥东接香港特别行政区,西接广东省(珠海市)和澳门特别行政区,是国家高速公路网规划中珠江三角洲地区环线的组成部分和跨越伶仃洋海域的关键性工程。主要包括两项内容:一是海中桥隧工程,二是粤港澳三地口岸及连接线。海中桥隧工程全长约35.6km,其中香港段长约6km。粤港澳三地共建主体工程长约29.6km,采用桥隧结合方案,穿越伶仃西航道和铜鼓航道段约6.7km采用隧道方案,其余路段约22.9km采用桥梁方案。

大桥设计者秉承“大型化、标准化、工厂化、装配化”的设计思路,将高度装配化建造理念全面引入桥梁建设中。装配式桥梁建设是桥梁工程领域的重大变革,与传统施工方法相比,装配式桥梁建设产业链条长,分支众多,能够催生结构部件及专用设备等诸多生产企业,带动企业专业化、精细化发展。发展装配式桥梁亦是桥梁工程业绿色发展、循环发展、低碳发展的主要内容,是稳增长、促改革、调结构的重要手段。

广东省长大公路工程有限公司承建的主体工程桥梁工程CB04合同段全长7.154km,主要包括江海直达船航道和深水区非通航孔桥两部分。在项目建设过程中,取得了多项技术创新成果,其中最具有代表性的内容包括:①开创性的提出了装配式柔性止水帷幕法安装桥梁预制墩台施工技术;②全球范围内首次实现了斜拉桥百米级重型异形钢索塔整体制造、一体化安装技术。

本书编者将江海直达船航道和深水区非通航孔桥建设技术作为主要内容,形成了系统的装配式跨海桥梁建设关键技术专著。各章内容如下:

第1章介绍了港珠澳大桥的工程概况、技术标准及建设环境条件;

第2章对大直径超长钢管复合桩基础施工技术做了详尽的描述,主要从复合桩钢管的制造与打设、长寿命海工高性能混凝土材料设计、大直径超长桩成孔工艺技术等方面展开叙述;

第3章主要阐述了江海直达船航道桥群桩基础承台施工技术;

第4~6章所述内容是具有自主知识产权的原创性施工技术之一——整体式重型异形钢索塔安装技术,主要包括:工艺原理、工艺流程及关键控制要点、测量监控技术、吊装过程仿真分析及安全性能评估等内容;

第7章主要介绍了江海直达船航道桥钢箱梁架设施工技术,主要分为塔处梁段吊装、大节段钢箱梁吊装及小节段悬臂拼装等多项复合工法;

第8章针对深水区非通航孔桥预制墩台技术,从预制厂地建设、大型全自动液压模板设计、构件预制工艺等诸多方面做了详尽介绍;

第9章、第10章所述内容是具有自主知识产权的原创性施工技术之二——装配式柔性止水帷幕法安装桥梁预制墩台关键技术,主要介绍了柔性止水帷幕的构建、止水胶囊与GINA止水带的研制及预制墩台安装过程振动监测与限制分析等内容。

全书详尽地从研究及应用的角度介绍了各分项工程所涉及的主要施工技术,各章内容既相互衔接,又相对独立。本书可作为桥梁工程领域研究、应用和教学的参考用书。

作者
2016.9

Contents

目 录

第1章 绪论	1
第1节 工程概况	1
第2节 设计技术标准	7
第3节 桥址环境条件	7
第2章 大直径超长钢管复合桩基础施工技术	10
第1节 地质条件	10
第2节 钢管复合桩设计	10
第3节 海工混凝土材料设计研究	11
第4节 大直径复合桩钢管制作技术	12
第5节 大直径复合桩钢管高精度施沉技术	19
第6节 江海直达船航道桥钻孔平台设计	23
第7节 深水区非通航孔桥装配式平台设计	26
第8节 大直径超长钢管复合桩成桩施工	28
第3章 江海直达船航道桥群桩基础承台施工技术	35
第1节 承台工程概述	35
第2节 承台施工工艺	36
第4章 整体式重型异形钢索塔安装技术	50
第1节 钢索塔安装工艺原理	50
第2节 钢索塔安装工艺流程	51
第3节 索塔安装测量与监控	58
第5章 整体式重型异形钢索塔吊装过程仿真分析	66
第1节 计算荷载的确立	66
第2节 整体式重型异形钢索塔吊装过程有限元分析说明	67
第3节 整体式重型异形钢索塔吊装过程仿真分析	69
第4节 整体式重型异形钢索塔吊装过程仿真分析结论	81
第6章 整体式重型异形钢索塔吊装船舶系安全性能评估	84
第1节 多浮体水动力相互干扰分析理论	84
第2节 多浮体系统响应时域分析理论	89
第3节 主要研究内容	94
第4节 浮态稳性计算与多浮体水动力分析	98

第5节 多浮体系泊系统时域分析 112

第7章 江海直达船航道桥钢箱梁架设技术 119

第1节 边跨大节段钢箱梁安装 119

第2节 钢索塔塔处梁段安装 123

第8章 非通航孔桥墩台预制技术 131

第1节 预制墩台工程概述 131

第2节 预制场设置及场地规划 132

第3节 预制构件钢筋施工 137

第4节 预制构件模板设计 150

第5节 预制墩台大体积海工混凝土材料设计与施工 152

第6节 预制墩台的移运施工 164

第9章 装配式柔性止水帷幕法安装预制墩台关键技术 166

第1节 引言 166

第2节 工艺原理 167

第3节 装配式柔性止水帷幕构建与关键装置设计 168

第4节 施工工艺及改进措施 198

第5节 上节墩身安装施工 212

第10章 预制墩台安装过程振动监测与限值分析 217

第1节 概述 217

第2节 基于无线传输的振动监测系统 217

第3节 预制墩台空间有限元精细化模型建立 230

第4节 预制墩台过程各阶段振动限值分析 232

第11章 非通航孔桥长线钢箱梁架设施工技术 236

第1节 概述 236

第2节 吊装设备选择 237

第3节 施工工艺 241

参考文献 250

第1章 绪 论

第1节 工程概况

1.1.1 项目背景

20 世纪 80 年代以来,香港、澳门与内地之间的运输通道,特别是香港与广东省珠江三角洲东岸地区的陆路运输通道建设取得了明显进展,有力地保障和推进了香港与珠江三角洲地区经济的互动发展,但是香港与珠江西岸的交通联系却一直比较薄弱。1997 年亚洲金融危机后,香港特区政府为振兴香港经济,寻找新的经济增长点,认为有必要尽快建设连接香港、澳门和珠海的跨海陆路通道,以充分发挥香港、澳门的优势,并于 2002 年向中央政府提出了修建港珠澳大桥的建议。

2003 年 7 月,内地与香港有关方面共同委托研究机构完成了《香港与珠江西岸交通联系研究》,研究结果表明修建港珠澳大桥连通三地具有重大的政治及经济意义,需要尽早安排建设。

2003 年 8 月,国务院批准开展港珠澳大桥项目前期工作,并同意成立由香港特区政府作为召集人,粤港澳三方组成的“港珠澳大桥前期工作协调小组”。2004 年 3 月,协调小组办公室成立,全面启动港珠澳大桥各项建设前期工作。

为进一步加快港珠澳大桥项目的前期工作,2006 年 12 月,经国务院批准,成立了由国家发改委牵头的“港珠澳大桥专责小组”,负责项目前期工作中重大问题的协调。

6 年多来,在中央的高度关注和支持下,以及“专责小组”和“前期工作协调小组”的推动下,粤港澳三地协作配合,确定了大桥两端的登陆点、跨珠江的主要线位和技术方案、口岸设立模式和大桥融资方案等重大问题,保障了项目前期工作的顺利开展。

1.1.2 项目建设意义及必要性

港珠澳大桥东接香港特别行政区,西接广东省(珠海市)和澳门特别行政区,是国家高速公路网规划中珠江三角洲地区环线的组成部分和跨越伶仃洋海域的关键性工程,将形成连接珠江东西两岸新的公路运输通道。

珠江三角洲地区是我国改革开放的先行地区和重要的经济中心区域,依托毗邻港澳的区位优势,在全国经济社会发展和改革开放大局中具有突出的带动作用 and 举足轻重的战略地位。珠江三角洲在快速发展的同时,珠江两岸发展的差距也在逐步拉大,珠江西岸经济发展明显滞后于东岸,与香港交通联系不便是影响珠江西岸经济发展的重要因素之一。受珠江阻隔,珠江西岸与香港之间的陆路需绕行虎门大桥,水路交通受天气影响较大且运行时间

较长,现有交通基础设施难以满足珠江两岸经济社会发展和交通运输的需要。

香港是全球重要的国际经济、金融、商业、贸易和航运中心,对周边地区既发挥重要的辐射和聚集作用,同时又依托周边地区的丰富资源。改革开放以来,香港与珠江东岸地区经济联系日趋紧密,香港经济保持持续繁荣,珠江东岸地区率先建立起开放型经济体系,成为我国外向度最高的经济区域和对外开放的重要窗口。澳门以旅游和金融保险为支柱产业,澳门和香港之间长期以来形成的产业分工和社会格局,使得两地的经济社会联系十分紧密。尽快构建港珠澳交通大通道,增强香港及珠江东岸地区经济辐射带动作用,充分挖掘珠江西岸发展潜力,便捷港澳及珠江两岸之间的交通联系,已成为三地共同的愿望。

综上,为完善国家和粤港澳三地的综合运输体系和高速公路网络,密切珠江西岸地区与香港地区的经济社会联系,改善珠江西岸地区的投资环境,加快产业结构调整 and 布局优化,拓展经济发展空间,提升珠江三角洲地区的综合竞争力,保持港澳地区的持续繁荣和稳定,促进珠江两岸经济社会协调发展,建设港珠澳大桥是必要的,也是十分迫切的。

1.1.3 工程概况及主要内容

港珠澳大桥工程包括三项内容:一是海中桥隧工程,二是香港、珠海和澳门三地口岸,三是香港、珠海、澳门三地连接线。根据达成的共识,海中桥隧主体工程(粤港分界线至珠海和澳门口岸段,下同)由粤港澳三地共同建设;海中桥隧工程香港段(起自香港石散石湾,止于粤港分界线,下同)、三地口岸和连接线由三地各自建设。

海中桥隧工程采用石散石湾—拱北/明珠的线位方案,路线起自香港石散石湾,接香港口岸,经香港水域,沿 23DY 锚地北侧向西,穿(跨)越珠江口铜鼓航道、伶仃西航道、青州航道、九洲航道,止于珠海/澳门口岸人工岛,全长约 35.6km,其中香港段长约 6km;粤港澳三地共同建设的主体工程长约 29.6km。主体工程采用桥隧结合方案,穿越伶仃西航道和铜鼓航道段约 6.7km 采用隧道方案,其余路段约 22.9km 采用桥梁方案。为实现桥隧转换和设置通风井,主体工程隧道两端各设置一个海中人工岛,东人工岛东边缘距粤港分界线约 150m,西人工岛东边缘距伶仃西航道约 1800m,两人工岛最近边缘间距约 5250m。

大桥采用桥隧结合方案(图 1-1-1),海中桥隧主体工程采用双向六车道高速公路标准建设,设计速度采用 100km/h,桥梁总宽 33.1m,隧道宽度采用 $2 \times 14.25\text{m}$ 、净高采用 5.1m。全线桥涵设计汽车荷载等级采用公路 - I 级,同时应满足香港《Structure Design Manual for Highways and Railways》中规定的活载要求,大桥的设计使用寿命 120 年。其他技术标准应符合原交通部颁发的《公路工程技术标准》(JTG B01—2003)中的规定。通航标准按交通运输部《关于港珠澳大桥通航净空尺度和技术要求的批复》(交水发[2008]97 号)执行。

CB04 合同段起止里程桩号 K22 + 083 ~ K29 + 237(图 1-1-2),全线包括:①东侧大跨径钢箱梁非通航孔桥(K22 + 083 ~ K27 + 253)跨径组合: $7 \times (6 \times 110\text{m}) + 5 \times 110\text{m} = 5170\text{m}$;②江海直达船航道整体式钢结构索塔钢箱梁三塔斜拉桥(K27 + 253 ~ K28 + 247)跨径组合: $110\text{m} + 129\text{m} + 258\text{m} + 258\text{m} + 129\text{m} + 110\text{m} = 994\text{m}$;③西侧大跨径钢箱梁非通航孔桥(K28 + 247 ~ K29 + 237)跨径组合: $5 \times 110\text{m} + 4 \times 110\text{m} = 990\text{m}$ 。

1.1.4 江海直达船航道桥

江海直达船航道桥采用中央单索面三塔钢箱梁斜拉桥(图 1-1-3),两个中跨和次边跨布

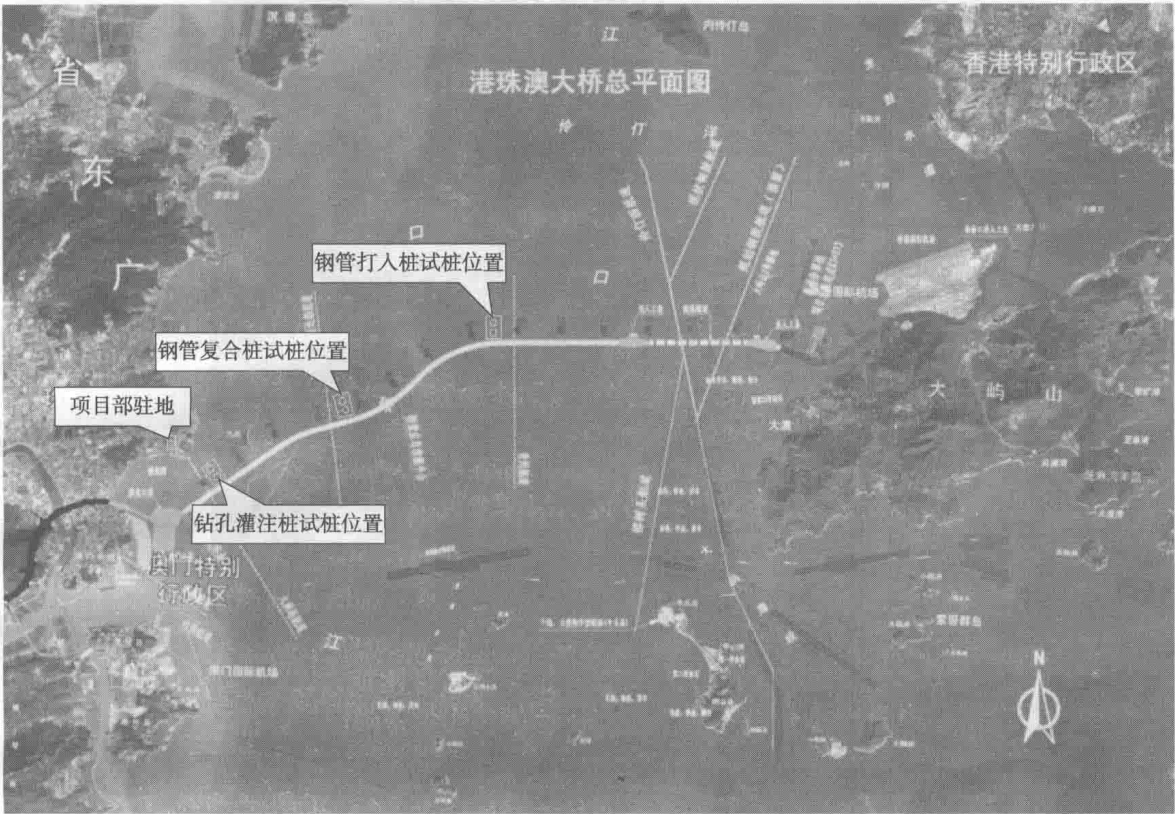


图 1-1-1 港珠澳大桥总平面图

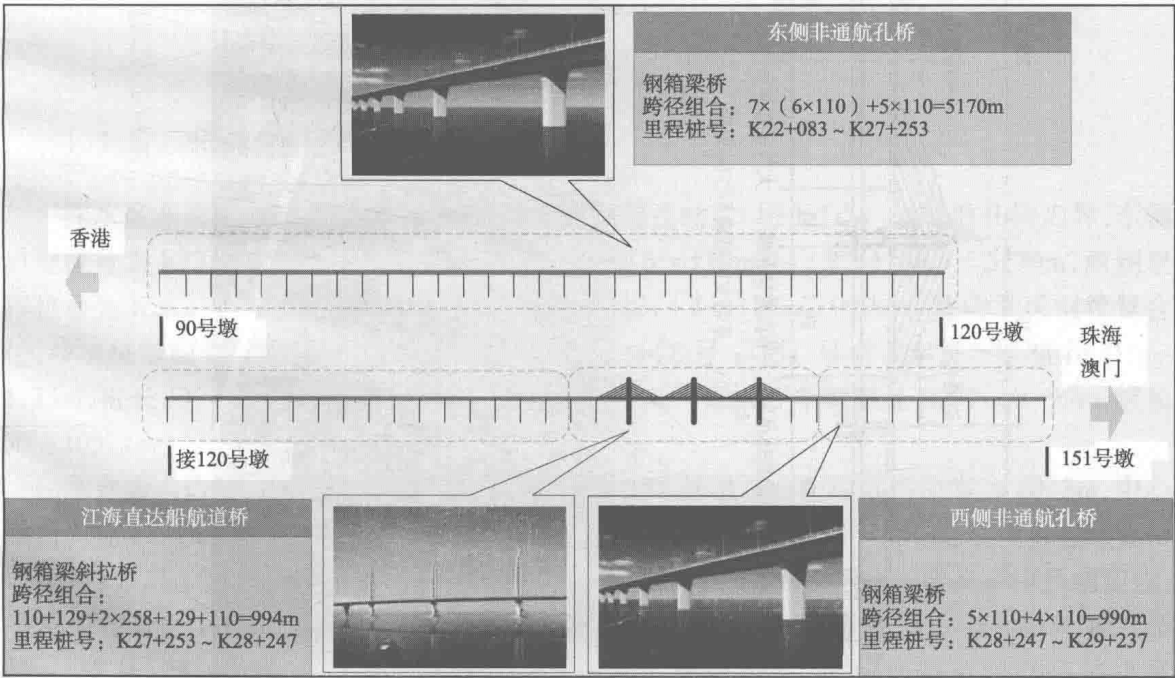


图 1-1-2 CB04 合同段桥型布局

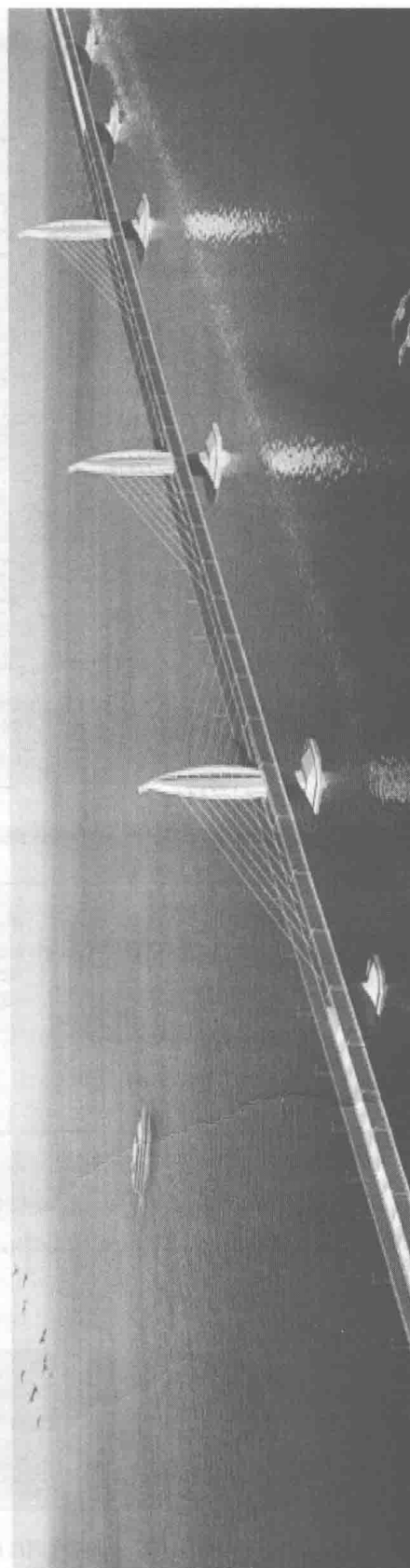
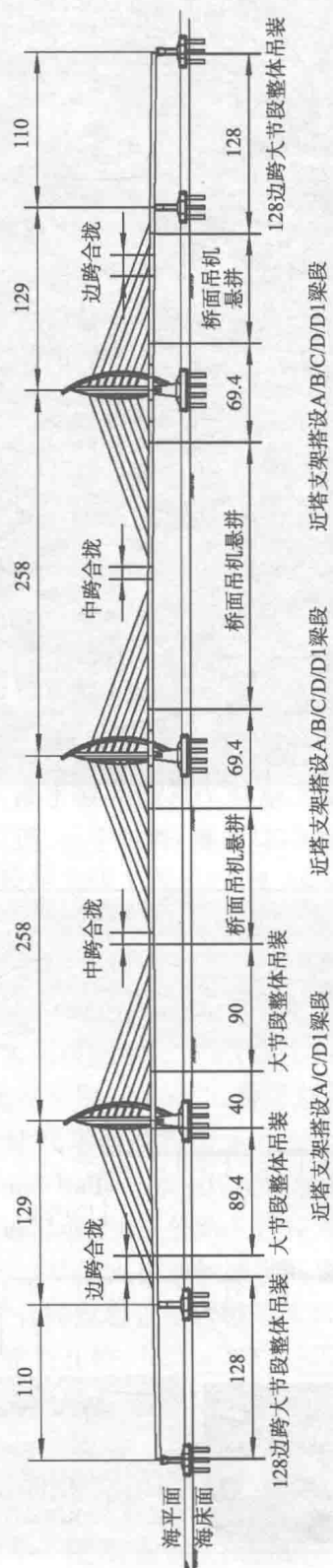


图 1-1-3 江海直达船航道桥型布局(尺寸单位:m)

设斜拉索。钢塔为“海豚”全钢结构(图 1-1-4),主塔柱受力部分由下至上共分为 Z0 ~ Z12 十三个节段,其中 138 号、140 号墩总高度 108.5m,139 号墩总高度 109.756m。Z0 节段高度均为 3.5m,质量 489t,单独安装,Z1 ~ Z12 节段整体吊装。

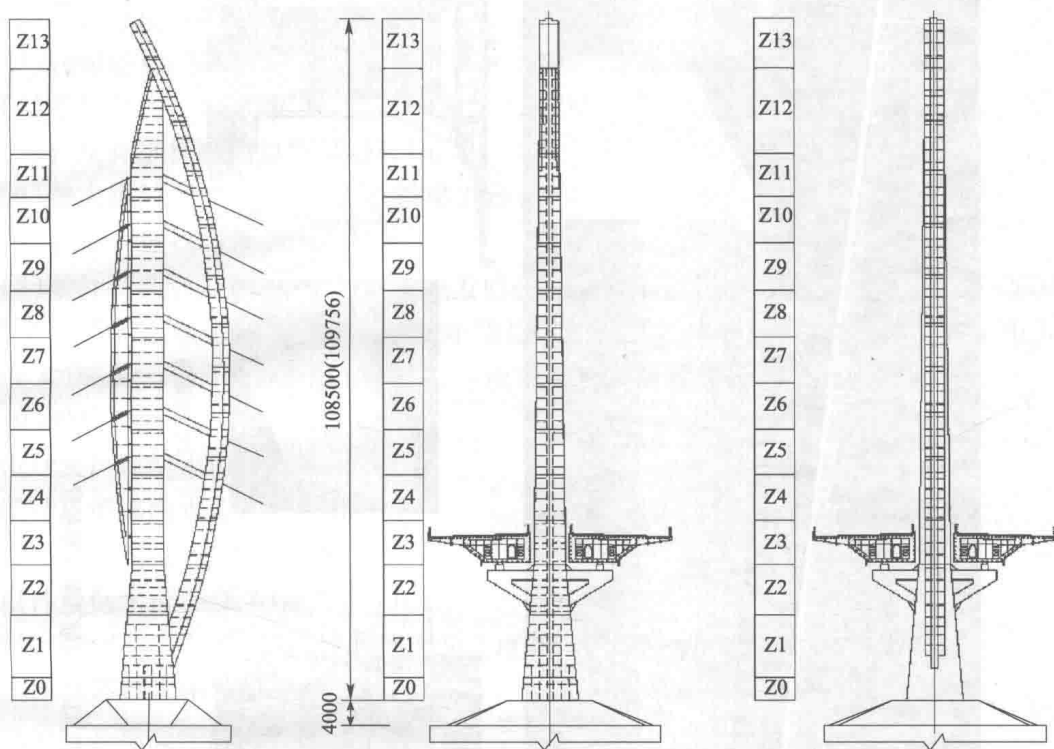


图 1-1-4 钢塔一般构造图(尺寸单位:mm)

1.1.5 非通航孔桥

深水区非通航孔桥上部结构采用 110m 跨钢箱连续梁(图 1-1-5),以通航孔桥为界,东侧里程桩号为 K22 + 083 ~ K27 + 253,跨径组合 $7 \times (6 \times 110\text{m}) + (5 \times 110\text{m}) = 5170\text{m}$,西侧里程桩号为 K28 + 247 ~ K29 + 237,跨径组合 $5 \times 110\text{m} + 4 \times 110\text{m} = 990\text{m}$ 。基础采用钢管复合桩,单墩桩基根数为 6 根,其中 90 号 ~ 131 号、147 号 ~ 151 号墩共 47 个墩桩径 D2m/1.75m,桩长 39 ~ 125m;132 号 ~ 135 号、143 号 ~ 146 号墩共 8 个墩桩径 D2.2m/1.95m,桩长 50 ~ 105.4m。

承台为六边形,其中 90 号 ~ 131 号、147 号 ~ 151 号墩承台边缘顺桥向宽为 10.3m,中心顺桥向宽 11.1m,横桥向长 14.8m,高 4.5m;132 号 ~ 135 号、143 号 ~ 146 号墩承台边缘顺桥向宽为 11.2m,中心顺桥向宽 12.0m,横桥向长 16.0m,高 5.0m。承台与墩身采用预制安装,90 号 ~ 129 号、148 号 ~ 150 号墩承台与墩身整体预制安装,吊装质量 2829.6 ~ 3024.8t;130 号 ~ 135 号、143 号 ~ 147 号、151 号墩墩身分两节预制安装,承台加底节墩身吊装质量 2270.7 ~ 2854.8t,顶节墩身吊装质量 680 ~ 1496t。