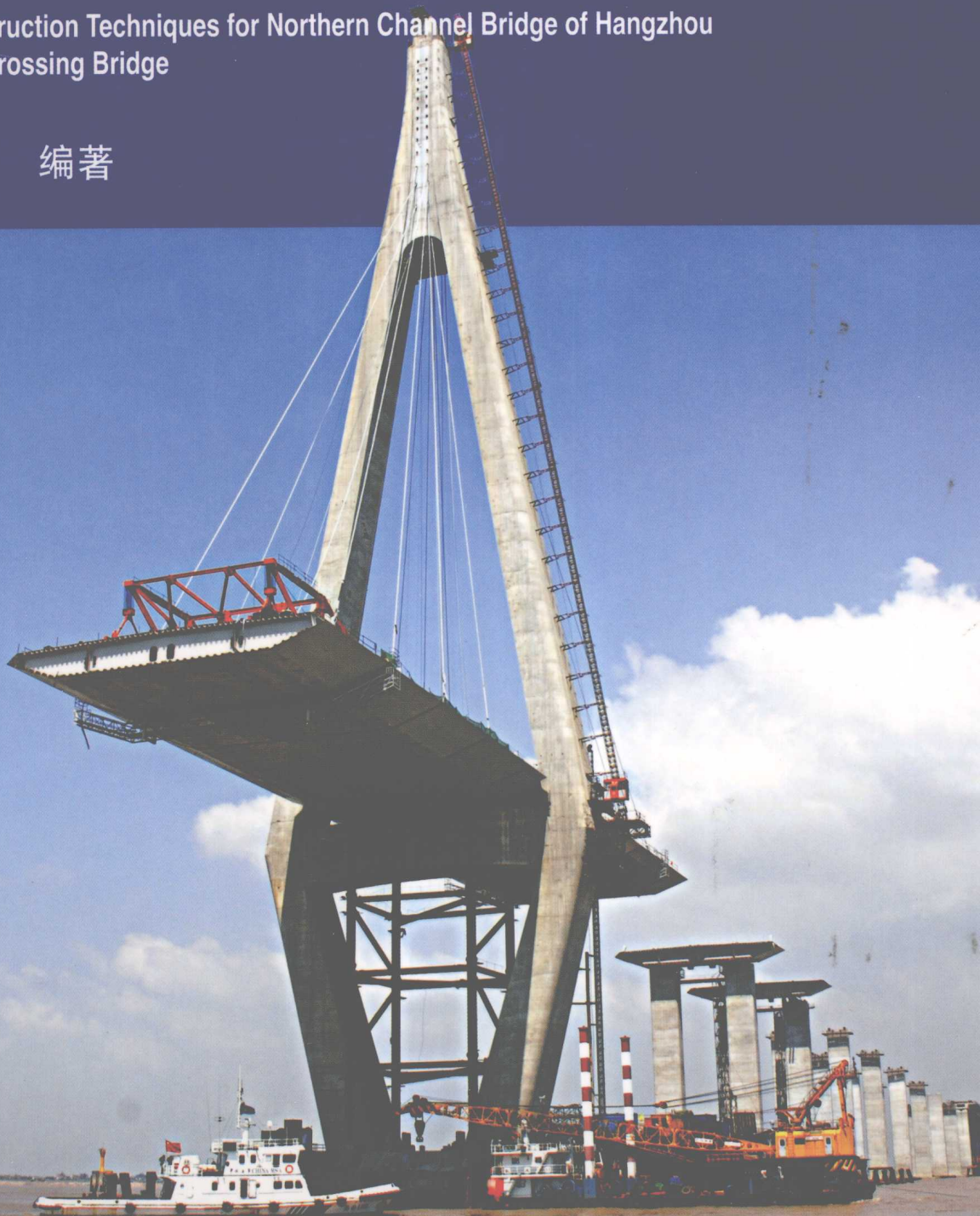


杭州湾跨海大桥 北航道桥施工技术

The Construction Techniques for Northern Channel Bridge of Hangzhou Bay Sea-Crossing Bridge

刘刚亮 编著



杭州湾跨海大桥北航道桥施工技术

The Construction Techniques for Northern Channel
Bridge of Hangzhou Bay Sea-Crossing Bridge

刘刚亮 编著

广东省出版集团

广东科技出版社

• 广州 •

图书在版编目 (CIP) 数据

杭州湾跨海大桥北航道桥施工技术/刘刚亮编著. —广州: 广东科技出版社, 2009. 2
ISBN 978-7-5359-5054-3

I. 杭… II. 刘… III. 跨海峡桥—桥梁工程—施工技术—杭州市
IV. U448.19

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 007137 号

责任编辑: 叶维生

封面设计: 陈维德

责任校对: T. P. H

责任印制: 严建伟

出版发行: 广东科技出版社

(广州市环市东路水荫路 11 号 邮码: 510075)

E-mail: gdkjzbb@21cn.com

http: //www. gdstp. com. cn

印 刷: 佛山市浩文彩色印刷有限公司

(南海区狮山科技工业园 A 区 邮码: 528225)

规 格: 787mm × 1 092mm 1/16 印张 27 字数 630 千

版 次: 2009 年 2 月第 1 版

2009 年 2 月第 1 次印刷

定 价: 80.00 元

如发现因印装质量问题影响阅读, 请与承印厂联系调换。

内容简介

本书刊载的是广东省长大公路工程有限公司所承建的杭州湾跨海大桥北航道桥的施工技术。

杭州湾跨海大桥全长 36km，按双向 6 车道高速公路设计，总投资 118 亿元，是目前世界上最长的跨海大桥。大桥设南北两个航道，其中北航道桥为主跨 448m 的钻石型双塔双索面钢箱梁斜拉桥，通航标准为 35 000t；南航道桥为主跨 318m 的 A 型独塔双索面钢箱梁斜拉桥，通航标准为 3 000t。

本施工技术克服了当地春夏温湿多雨、台风频繁、雷暴雨日，冬季气温极低及水文地质情况复杂、潮差大、海水深等困难，从施工测量、桩基础施工、高墩区引桥及边辅墩承台墩身施工、北航道桥主墩承台及索塔施工、北航道桥钢箱梁及斜拉索安装施工、海工混凝土施工及海水造浆工艺等方面，详细介绍了在建造大桥的过程中所采用的多项创新性的先进技术，如海中栈桥延伸的施工方法、海中大型施工平台搭设、采用钻孔平台兼作承台套箱底板、防撞与承台套箱相结合、海中大孔径钻孔注桩施工技术、海工混凝土研究等，为今后同类桥梁施工提供了良好的借鉴。

编写人员名单

主 编 刘刚亮

副 主 编 王中文 张焕新 周继求 毛志坚 陈儒发

编写人员 钱 亮 郭 波 钟建锋 薛长武 彭修权
李志生 余 甦 罗平生 蔡炎标 程允武
李彦军 蔡俊华 宋玲敏 杨自军 汪一格
刘 军 周初开 林江辉 林 海 高 超
钟利坚 高篷初 李志连 黄剑波 荣国城
廖国聪 陈 洋 罗洪桦

前 言

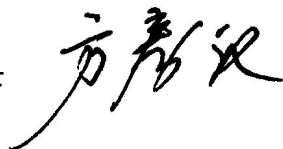
杭州湾跨海大桥是我国“五纵七横”国道主干线——同三线跨越杭州湾的便捷通道。大桥北起嘉兴市海盐郑家埭，跨越宽阔的杭州湾海域后止于宁波市慈溪水路湾，全长36km，是目前世界最长的跨海大桥。

1934年中国桥梁专家茅以升老先生在当时的条件下，排除万难在钱塘江上主持建造了钱塘江上的第一座大桥——钱塘江大桥，以后钱塘江上先后又修建了多座大型桥梁。而今杭州湾作为钱塘江的入海口，由于其地形上呈喇叭形，属强潮河口海湾，潮差大，潮流强劲，是世界三大强潮海湾之一。海面宽阔，受气象、水文、地质、冲刷等多种自然条件的影响，施工环境极其恶劣。虽然我国在江河和湖泊上的桥梁建设中积累了一定的经验，但在跨海桥梁的施工方面仍然是一片空白。

杭州湾跨海大桥北航道桥为主跨448m双塔双索面钢箱梁斜拉桥，工程规模大，桩基础长达125m，主塔高达180m（承台以上），潮大流急，台风、风暴频繁发生，施工经验缺乏，面临着诸多难题和挑战。工程前期针对建设条件进行了大量的专题施工方案研究，如海上大型施工平台设计与施工、超长钻孔灌注桩基础施工、大型承台套箱与防撞结合施工、台风多发地带高塔施工、钢箱梁及斜拉索施工和带转向机构的斜拉索减振器研究等，在这些研究的基础上形成了一套海上大跨度桥梁施工技术。由于广东省长大公路工程有限公司建设者们前期准备工作充分、施工技术先进、施工组织和工程管理严密，使大桥建设得以顺利实施。

作为中国跨海桥梁的代表，杭州湾跨海大桥进行了许多开创性的工作和有益的尝试，并取得了举世瞩目的成绩。在此，谨向桥梁建设者和桥梁爱好者推荐此书，为今后同类桥梁建设提供借鉴。

中国工程院院士



目 录

第一篇 项目总体施工布局及主要大型临时工程

第1章 工程概况及特点	(3)
1.1 工程简介	(3)
1.2 气候、水文及地质情况	(6)
1.3 工程特点	(9)
第2章 工程施工总体布局	(10)
2.1 概述	(10)
2.2 生活办公区及生产加工区布置	(10)
2.3 主体工程施工部署	(10)
2.4 设备选型及布置	(13)
2.5 结语	(14)
第3章 主要大型临时工程设计与施工	(15)
3.1 临时码头设计与施工	(15)
3.2 栈桥设计与施工	(24)
3.3 平台设计与施工	(34)
3.4 钢管桩拔除施工技术	(86)
3.5 平台轻型龙门吊的设计与安装	(91)

第二篇 施工测量

第4章 施工测量	(97)
4.1 工程概况	(97)
4.2 坐标系统及首级控制网的复测	(97)
4.3 桥梁各结构物施工测量	(98)
4.4 天宝 5700GPS 的应用	(102)
4.5 “长大 36” 打桩船的测量定位	(104)
4.6 主塔连续 24 小时变形监测	(107)

4.7 结语	(107)
--------------	-------

第三篇 桩基础施工

第5章 桩基础施工工艺	(111)
5.1 工程概况	(111)
5.2 桩基础成孔施工工艺	(112)
5.3 钢筋笼制作及安装	(119)
5.4 水下混凝土灌注	(125)
5.5 桩底压浆施工	(133)
5.6 钻孔灌注桩剪球卡球或堵管事故处理	(139)
第6章 B11 墩桩基施工事故处理	(142)
6.1 B11 墩桩基施工事故处理总体概述	(142)
6.2 变形钢护筒水下切割施工方案	(144)
6.3 B11 主墩 3# 及 17# 桩塌孔空洞处理施工	(150)
6.4 高压旋喷施工	(151)
第7章 B10 墩桩基施工事故处理	(159)
7.1 钢护筒加强处理	(159)
7.2 桩基成孔事故处理	(160)
7.3 桩基混凝土灌注注意事项	(165)

第四篇 高墩区引桥及边辅墩承台墩身施工

第8章 高墩区引桥承台及墩身施工	(169)
8.1 高墩区引桥承台施工	(169)
8.2 高墩区引桥墩身施工	(176)
第9章 边辅墩承台及墩身施工	(187)
9.1 北航道桥辅助墩承台施工	(187)
9.2 北航道桥过渡墩承台施工	(197)
9.3 辅助墩及过渡墩墩身施工	(204)

第五篇 北航道桥主墩承台及索塔施工

第10章	北航道桥主墩承台及防撞套箱施工	(213)
10.1	北航道桥主墩承台施工	(213)
10.2	主墩及辅助墩防撞套箱加工与安装	(233)
10.3	塔座施工	(248)
第11章	索塔施工	(251)
11.1	工程概述	(251)
11.2	索塔总体施工工艺流程	(253)
11.3	机械设备及劳动力配置	(254)
11.4	主塔斜爬模施工	(255)
11.5	塔柱劲性骨架施工	(261)
11.6	塔柱钢筋安装	(263)
11.7	混凝土施工及外观质量控制	(264)
11.8	下塔柱施工	(267)
11.9	横梁施工	(268)
11.10	中塔柱施工	(273)
11.11	塔柱合拢段及上塔柱施工	(274)
11.12	结语	(282)

第六篇 北航道桥钢箱梁及斜拉索安装施工

第12章	钢箱梁及斜拉索安装施工	(287)
12.1	概述	(287)
12.2	钢箱梁安装施工	(287)
12.3	斜拉索安装施工	(311)
12.4	结语	(319)
第13章	钢箱梁安装施工监控	(321)
13.1	施工监控的目的与意义	(321)
13.2	施工控制的原则和方法	(321)
13.3	北航道桥施工监控过程中的问题与解决方法	(322)
13.4	结语	(323)

第七篇 海工混凝土施工及海水造浆工艺

第14章 海工混凝土施工技术	(327)
14.1 高性能海工混凝土概述及性能	(327)
14.2 高性能海工混凝土使用材料及试验方法	(329)
14.3 高性能海工混凝土配合比	(330)
14.4 高性能海工混凝土的施工	(331)
14.5 结语	(335)
第15章 沿海强潮区海水造浆工艺	(336)
15.1 工程概况及海水造浆工艺研究背景	(336)
15.2 海水泥浆的特点及技术要求	(336)
15.3 钻孔泥浆材料	(337)
15.4 钻孔泥浆试验与分析	(338)
15.5 造浆工艺	(341)

第八篇 施工质量控制

第16章 施工质量控制	(345)
16.1 概述	(345)
16.2 质量管理依据	(345)
16.3 工程质量目标、方针和承诺	(345)
16.4 工程质量组织机构	(346)
16.5 工程质量保证体系	(346)
16.6 质量管理制度	(347)
16.7 施工过程质量控制	(350)
16.8 工程质量保证措施	(352)
16.9 施工过程专项控制措施	(355)
16.10 结语	(364)

第九篇 船机及大型机材设备组织与管理

第17章 海上大型施工船队组织与管理	(371)
17.1 成立船队管理组织机构	(371)

17.2	建立船舶安全管理体系	(371)
17.3	规范船机设备及船舶物资管理	(373)
第18章	施工机械配置及安拆	(375)
18.1	概述	(375)
18.2	机械设备的配置	(375)
18.3	主要大型设备的安装及拆除	(385)
18.4	结语	(395)
第19章	北航道桥海上施工用电布置	(398)
19.1	概述	(398)
19.2	工程用电具体分布	(398)
19.3	现场供电功率计算及成本对比	(401)
19.4	安全用电	(401)
19.5	结语	(402)
19.6	附件：《过海电缆敷设方案》	(402)

第十篇 海上施工安全管理

第20章	项目安全管理的难点与重点	(409)
20.1	防台风工作	(409)
20.2	大型设备的安全使用与管理	(412)
20.3	高空作业	(415)
第21章	大型临时设施的安装与拆除	(417)
第22章	安全教育	(418)

第一篇

项目总体施工布局及主要大型临时工程





第1章 工程概况及特点

1.1 工程简介

1.1.1 杭州湾跨海大桥总体工程设计与施工简介

杭州湾跨海大桥是我国“五纵七横”国道主干线——同三线跨越杭州湾的便捷通道，大桥建成后将缩短宁波至上海的陆路距离 120 余公里。大桥北起浙江嘉兴海盐郑家埭，起点桩号 K49 + 000，南至宁波慈溪水路湾，终点桩号 K85 + 000，全长 36km，是目前世界上已建或在建最长的跨海大桥，见图 1-1 和图 1-2。

杭州湾跨海大桥按双向六车道高速公路设计，设计时速 100km/h，设计使用年限 100 年，总投资约 118 亿元。大桥设南、北两个航道，其中北航道桥为主跨 448m 的钻石型双塔双索面钢箱梁斜拉桥，通航标准 35 000t；南航道桥为主跨 318m 的 A 型独塔双索面钢箱梁斜拉桥，通航标准 3 000t。除南、北航道桥外其余引桥均采用 30 ~ 80m 不等的预应力混凝土连续箱梁结构。

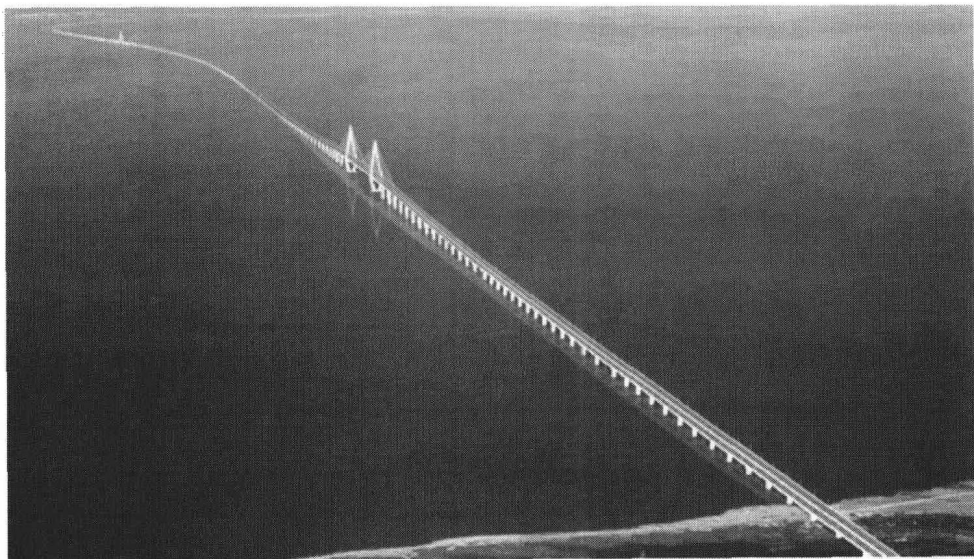


图 1-1 杭州湾跨海大桥整体鸟瞰效果

大桥土建工程施工划分为 I ~ XI 共计 12 个标段。

I 合同段起止桩号为 K49 + 000 ~ K51 + 579，主要工程施工内容包括①北引线道路施工（含软基处理），长约 15.5m；②北引桥陆地区和滩涂区 30m、50m、60m、80m 斜腹板连续箱梁，板式墩、钻孔桩。该合同段桥长 2 579m，陆地区长约 1 000m，滩涂区长 1 579m，其中海上滩涂区全部采取搭设栈桥 + 平台进行施工。该合同段桩基均为钻孔摩擦灌注桩，采取 QJ150 ~ QJ200 钻机成孔施工；陆地区承台采用直接开挖基坑方案进行施工，海上滩涂区承台均采用内外双层无底钢套箱进行施工；墩身均采用搭设钢管支架配合无拉杆桁架模板翻转模施工；上部 30m 跨径斜腹板连续箱梁采用搭设门式支架现浇施工，60m 及 80m 斜腹板连续箱梁采用挂篮悬臂浇筑施工，50m 标准跨径斜腹板连续箱梁均采用移动模架逐孔现浇施工。

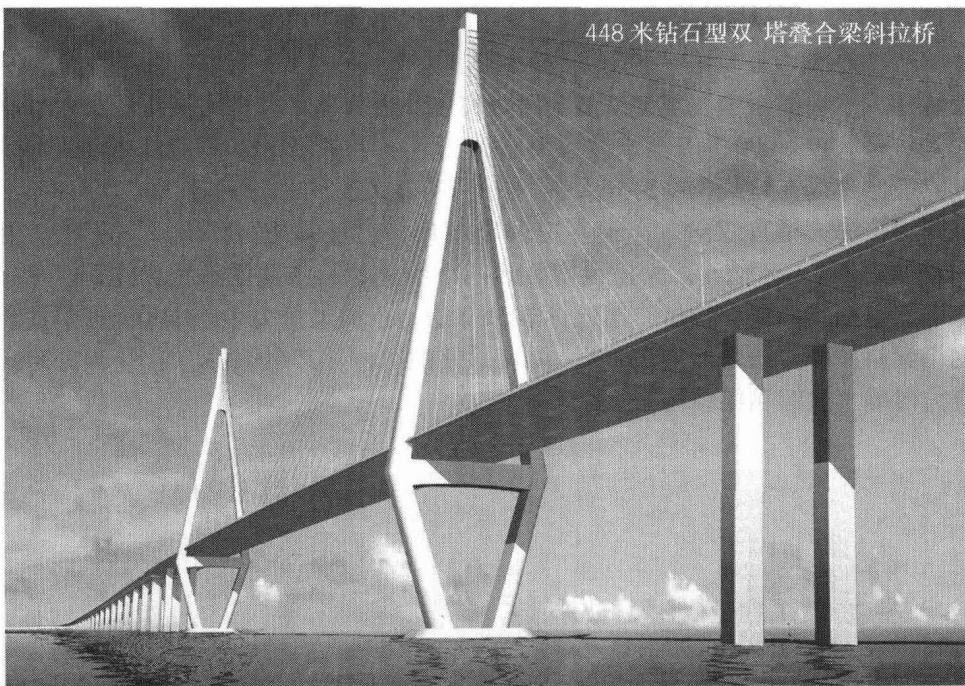


图 1-2 杭州湾跨海大桥 II 合同段效果

II 合同段起止桩号为 K51 + 579 ~ K52 + 977，全长 1 398m，主要工程施工内容包括①北通航孔北侧高墩区引桥（标准跨径为 70m）B1 ~ B7 墩基础及下构；②北航道桥 B8 ~ B13 墩下部结构施工及其上部钢箱梁吊装和斜拉索采购与安装施工。

III A 合同段起止桩号为 K64 + 037 ~ K64 + 615，全长 578m，主要工程施工内容为南航道桥（主跨为 318m 的 A 型独塔双索面斜拉桥，跨径组合为 318m + 160m + 100m）基础工程、墩身、索塔、钢箱梁吊装和斜拉索采购与安装。本合同段采用海上平台施工方案，除承台均采用单壁钢套箱施工外，其余工程施工方法与 II 合同段北航道桥施工方法基本一致。（见 II 合同段工程简介）。

III B 合同段中心里程 K66 + 105，主要工程施工内容为 10 000m² 海中平台施工及其与主线连接匝道桥施工。其中海中平台基础设计为钢管桩，采用打桩船插打施工，平台

为组合梁结构；匝道桥基础及下部结构采用栈桥法施工，基础设计为钻孔灌注桩，上部为钢箱梁浮吊逐跨吊装安装施工。

IV合同起止桩号为 K52 + 977 ~ K53 + 957、K63 + 337 ~ K64 + 037、K64 + 615 ~ K65 + 315，主要工程施工内容为北航道桥南侧高墩区基础及下构和南航道桥南北高墩区基础及下构施工。该合同段基础设计为钢管桩，采用打桩船插打施工；承台采用有底钢套箱施工，套箱采用浮吊整体吊装安装；墩身采用无支架翻转模板法施工。整个施工过程不搭设海上施工平台，均采用打桩船、浮吊及多功能驳船、运输船及交通船进行施工。

V合同工程施工内容主要包括：①起止桩号为 K53 + 957 ~ K61 + 937、全长7 980m的中引桥低墩区下部钢管桩及承台施工；②全长 15 750m 的中、南引桥水中低墩区下部墩身，起止桩号为 K53 + 957 ~ K63 + 337 及 K65 + 315 ~ K71 + 685。该合同段基础设计为钢管桩，采用打桩船插打施工；承台采用钢套箱施工，套箱采用浮吊整体吊装安装；墩身采用厂内整个预制、400t 浮吊吊装的方法进行安装。同样整个施工过程不搭设海上施工平台，均采用打桩船、浮吊及多功能驳船、运输船及交通船进行施工。

VI合同主要工程施工内容包括中引桥及南引桥低墩区下部打入钢管桩及承台施工，起止桩号分别为 K61 + 937 ~ K63 + 337、K65 + 315 ~ K66 + 575，全长 2 660m。

VII合同主要工程施工内容为南引桥水中低墩区下部打入钢管桩及承台施工，起止桩号为 K66 + 575 ~ K71 + 685，全长 5 110m。其钢管桩及承台施工方法与上述IV、V、VI合同段工程施工方法类似。

VIII合同主要工程施工内容为中、南引桥水中低墩区、航道桥高墩区上部 70m 斜腹板连续箱梁的预制和架设。起止桩号为 K51 + 579 ~ K52 + 069、K52 + 977 ~ K64 + 037、K64 + 615 ~ K71 + 335，全长 18 270m。该合同段箱梁采用厂内整孔预制、3 000t 浮吊整孔吊装的方法进行施工。

IX合同起止桩号为 K71 + 685 ~ K81 + 385，全长 9 700m。主要工程施工内容为南引桥滩涂区下部钻孔桩、板式墩，承台、现浇墩身及栈桥搭设施工。

X合同起止桩号为 K71 + 335 ~ K81 + 815，全桥长 10 480m。主要工程施工内容为①南引桥滩涂区 50m 标准跨径的上部箱梁预制安装；②跨十塘 50 + 80 + 50m 和十塘内 4 × 50m 联的 50m、80m 斜腹板连续箱梁、板式墩、钻孔桩，承台、现浇墩身施工。本合同段南引桥滩涂区 50m 标准跨径的上部箱梁采用预制场内整孔预制，通过“梁上运梁”方法将梁运至架设位置、用大吨位架桥机整孔架设，之后再现场进行箱梁湿接缝等施工的方法进行施工。

XI合同起止桩号为 K81 + 815 ~ K85 + 000，主要工程施工内容为南引桥陆地区及南引线长约 2 873.5m 的 80m、50m、30m 斜腹板连续箱梁、板式墩、钻孔桩、承台、现浇墩身施工和长约 311.5m 的引线道路施工（含软基处理）。其施工方法与 I 合同段工程施工方法类似。

此外还将中南引桥基础钢管桩制作划分为独立标段，将两个航道桥钢箱梁以及海中平台匝道桥钢箱梁制作和现场栓焊连接划分为一个标段，将桥面水泥混凝土和沥青混凝土铺装划分为两个标段，将全桥结构混凝土表面涂装工程划分为三个标段进行施工。

1.1.2 II 合同段工程简介

II 合同段位于澉浦至金山的北岸深槽，紧邻乍浦港及其候泊锚地，距北岸海塘约 2.5km。全桥共计 13 座桥墩，其中 B1 ~ B7 为高墩区引桥，B8 ~ B13 为北航道桥，北航道桥为钻石型双塔空间双索面五跨连续钢箱梁斜拉桥，设计跨径组合为 $70 + 160 + 448 + 160 + 70 = 908\text{m}$ 。

主要技术标准：桥梁等级全线采用双向 6 车道高速公路标准建设，计算行车速度 100km/h ，桥面宽度 33m （不含锚索区），设计荷载汽车 - 超 20 级及挂车 - 120 级，最大纵坡 2.8%，桥面横坡 2%，设计洪水频率 $1/300$ ，结构设计基准期 100 年，抗风设计标准运营阶段设计重现期 100 年 $V_{10}(1/100) = 39\text{m/s}$ ，施工阶段设计重现期 30 年 $V_{10}(1/30) = 34.8\text{m/s}$ ，通航标准主通航孔按 3.5 万 t 级海轮标准设计，通航净宽 325m ，净高 47m ，边通航孔按 1000t 级海轮标准设计，通航净宽 110m ，净高 28m ，地震基本烈度为 VI 度，见图 1-3 杭州湾跨海大桥 II 合同段总体设计图。

II 合同段合同工期 44 个月，开工日期为 2004 年 4 月 27 日，工程完工日期为 2007 年 12 月 25 日，合同总造价为 5.41 亿元。

1.2 气候、水文及地质情况

1.2.1 气象条件

杭州湾地区属南亚热带季风气候，温湿多雨，是重大灾害天气多发地带。年平均气温 16°C 左右，累计年均降雨量为 $1\ 220.2\text{mm}$ 。夏、秋季台风为主要自然灾害，1949 ~ 2000 年共有 133 个台风影响该地区；全年平均风速 3m/s ，年平均大风日数 16.3 天。该地区雷暴频繁，全年平均雷暴日数为 32.1 天，全年平均雾日数 35.6 天，年均降雪日数 9.7 天，1949 ~ 2000 年桥位周围 6 个县市出现 39 次龙卷风。北航道桥在施工过程中（2004.6 ~ 2007.6）共经历台风 20 次，其中影响较大的有 3 次。

1.2.2 水文条件

1.2.2.1 潮位

杭州湾为世界三大强潮海湾之一，平均水深 $10 \sim 18\text{m}$ ，湾内 4 股水系交汇，水文条件极为复杂。潮汐类型为不规则半日浅海潮，并有明显的日、夜潮不等现象。根据附近乍浦水文站长期验潮（1930 ~ 1999）资料（潮位基准面采用 1985 国家高程基准）统计，北航道桥潮汐特征值见表 1-1。