

中国公路学会桥梁和结构工程分会 **2005** 年

全国桥梁学术会议论文集

Proceedings of the National Conference on
Bridge Engineering, China-2005



人民交通出版社
China Communications Press

中国公路学会桥梁和结构工程分会
2005 年全国桥梁学术会议
论 文 集

中国公路学会桥梁和结构工程分会
杭州湾大桥工程指挥部

人民交通出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中国公路学会桥梁和结构工程分会 2005 年全国桥梁学术会议论文集/中国公路学会桥梁和结构工程分会编.
—北京: 人民交通出版社, 2005.10
ISBN 7-114-05774-1

I. 中... II. 中... III. 桥梁工程-学术会议-文集 IV. U44-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 108466 号

书 名: 中国公路学会桥梁和结构工程分会 2005 年全国桥梁学术会议论文集

著 作 者: 中国公路学会桥梁和结构工程分会杭州湾大桥工程指挥部

责任编辑: 张征宇

出版发行: 人民交通出版社

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)85285656, 85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 880×1230 1/16

印 张: 84.25

字 数: 2539 千

版 次: 2005 年 10 月第 1 版

印 次: 2005 年 10 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-114-05774-1

印 数: 0001—2500 册

定 价: 180.00 元

(如有印刷、装订质量问题, 由本社负责调换)

2005 年全国桥梁学术会议论文集编辑委员会

主 编:王永珩 王 勇 曾宪武

副主编:吕忠达 张宝胜 王仁贵 郭俊礼

编 委:朱瑶宏 林国雄 方明山 楼庄鸿 高征铨

黄燕庆 楼普增 陈儒发 汪德隆 黄增财

曾平喜 卢福海 刘雅清 赵剑发 李学民

李国军 李友明 宋冰泉 朱才科 徐旭锋

王兴良 童显斌 吴建中 熊明非 李永强

王耀传 陈 凡 王玉定

前 言

2005 年全国桥梁学术会议共收到论文 380 多篇。中国公路学会桥梁和结构工程分会组织专家对全部论文进行了认真的评审,精选出 195 篇编辑成本论文集。

论文集分为规划与设计、施工与控制技术、结构分析与试验研究、桥梁检测与加固四个篇章。这些论文是作者从事设计、施工、科学研究和工程实践的探索与总结,集中反映了我国现阶段桥梁建设科技发展的先进水平,有较高的学术性、实用性和参考价值。

本论文集得到了杭州湾大桥工程指挥部和各位作者的大力支持和积极参与。在此,谨向杭州湾大桥工程指挥部、论文作者、参加论文评审的各位专家,以及对论文征集、编审、出版等工作给予帮助、支持的同志们表示衷心地感谢!

中国公路学会桥梁和结构工程分会
二〇〇五年十月

目 录

I 规划与设计

杭州湾跨海大桥设计与施工	吕忠达(3)
杭州湾跨海大桥总体设计	王仁贵 孟凡超 王梓夫 吴伟胜(14)
用科技引领杭州湾跨海大桥建设	张宝胜 方明山(25)
杭州湾跨海大桥混凝土结构耐久性研究与实施	张宝胜 干伟忠 陈 涛 吕忠达(30)
杭州湾跨海大桥测量控制方案综述	朱瑶宏 许提多(40)
杭州湾跨海大桥航道桥上部结构设计	吴伟胜 王仁贵 王梓夫(48)
杭州湾跨海大桥高墩区引桥总体及上部结构设计	吴伟胜 王仁贵 王梓夫(57)
杭州湾跨海大桥海中平台设计	王仁贵 王梓夫 吴伟胜 王文斌(63)
杭州湾跨海大桥航道桥索塔结构设计	王梓夫 王仁贵 吴伟胜(69)
杭州湾跨海大桥航道桥基础设计	赵 毅 王仁贵 王梓夫(76)
杭州湾跨海大桥高墩区引桥下部结构及基础设计	赵 毅 王仁贵 王梓夫(86)
杭州湾跨海大桥水中低墩区引桥总体设计	黄燕庆 王东晖(93)
杭州湾跨海大桥宽阔滩涂区引桥上部结构设计	王东晖 张燕飞 黄燕庆(101)
杭州湾跨海大桥航道桥附属结构设计	王梓夫 王仁贵 吴伟胜 赵 毅(106)
杭州湾跨海大桥工程的景观设计	黄友钦 宋天诣 刘建新(110)
南京长江三桥技术创新	彭更生 娄学全 郭志明(116)
南京长江第三大桥主塔钢—混结合段设计研究	崔 冰 孟凡超 赵灿辉 董 萌 唐 亮(121)
苏通长江大桥主航道桥桥型方案研究	裴岷山 徐利平 张喜刚(131)
重庆云阳长江公路大桥总体设计	牟廷敏 蒋自强(137)
贵州坝陵河大桥方案设计	彭运动 孟凡超 庞颂贤(142)
四川阆中马嘶溪嘉陵江大桥设计	蒋自强(147)
北京潮白河大桥的结构体系	惠 斌 徐德标(151)
浙江飞云江三桥施工图设计与技术特点	南军强 杨耀铨 向 彤 易 蓓 朱 玉 罗玉科(159)
浙江平湖海盐塘桥的设计——国内首座塔顶锚固的自锚式混凝土悬索桥	易建国 张元凯 金成棣(166)
浙江杭新景高速公路千岛湖1号桥设计	翁 辉 王 炎 郝 超(171)
杭州江东大桥(钱江九桥)设计方案竞赛	张剑英 洪建辉 章曾焕 刘 谦(177)
组合结构桥梁的发展与展望	刘玉擎(186)
波形钢腹板PC箱梁桥应用综述	陈宝春 黄卿维(192)
波形钢腹板箱梁——大堰河桥设计分析	胡旭辉 顾安邦 徐君兰 钟 豪(201)
波纹钢腹板PC组合箱梁的抗剪连接键设计	钟 豪 徐君兰 顾安邦 胡旭辉(205)
钢拱桥发展综述	高 婧 陈宝春(211)
钢管混凝土拱桥应用概况分析	陈宝春 杨亚林(219)

桥梁设计创新实践	林长川(226)
20 世纪 90 年代正交各向异性钢桥面的发展	金增洪(233)
我国大跨度悬索桥建设技术的新进展	王武勤(243)
从江阴长江大桥和润扬长江大桥看大跨径悬索桥设计	杨玉东 王仁贵 吴伟胜(250)
悬索桥发展中的问题与挑战	宋香娥 雷俊卿(258)
我国自锚式悬索桥	楼庄鸿 邴铃福(261)
自锚式悬索桥评述	徐风云 陈德荣 宋凤立(271)
无背索斜拉桥	楼庄鸿 邴铃福(278)
矮塔斜拉桥几个问题的探讨及发展展望	陈从春 肖汝诚(287)
先简支后连续刚构桥的几点探讨	杨炳尧(292)
拱桥设计中的两个具体问题	楼庄鸿 李玉敏(301)
地下连续墙作为桥梁基础在软土地区的应用	吕嵩山 吕敬之(303)
隧道锚锚体长度估算公式	朱 玉 廖朝华 卫 军(310)
悬索桥猫道主索改进方案的介绍	张建桥 刘陌生(316)
井筒式地下连续墙基础设计及应用展望	刘明虎(317)
大跨径桥梁结构缝隙密封防腐蚀技术与工程应用	周军辉 黄玖梅 姜小刚(324)
公路钢桥的腐蚀与防护	董春燕 雷俊卿(331)
厦门东通道工程桥梁方案的景观设计	彭志苗 刘世林(338)
上海安亭汽车城吴淞江人行景观桥设计	潘 龙 周 良 彭 丽 朱伸展(347)
城市轨道交通桥梁景观方面存在的问题及其对策	梁 艳 陈艾荣 罗晓瑜 阮 欣(353)
桥梁造型基本要素在城市轨道交通桥梁中的运用	罗晓瑜 陈艾荣 林铁良 盛 勇 梁 艳 阮 欣(359)
一种新型无伸缩缝结构——半整体式桥台桥梁性能分析	王天利 胡大琳 陈 峰 宗雪梅(365)

II 施工与控制技术

杭州湾跨海大桥北航道桥钻孔灌注桩施工	陈儒发 李志生 罗平生(373)
杭州湾跨海大桥海上超长大直径钻孔桩施工	胡中超 何旭斌(377)
杭州湾跨海大桥大型承台钢套箱受力分析	俞立新 卢福海 丁 健 吴 锋(383)
杭州湾跨海大桥 70m 预制箱梁海工耐久混凝土裂缝控制技术	赵剑发 谭国顺 王 毅(388)
杭州湾跨海大桥 70m 预应力混凝土箱梁海上运架专用起重船技术参数研究	陈龙剑 胡国庆(393)
杭州湾跨海大桥海上 70m 箱梁制作与架设	赵剑发(400)
杭州湾跨海大桥南岸超长栈桥安全论证	李学民 张万虎 赵 飞(414)
杭州湾跨海大桥大跨度连续箱梁支架法现浇施工技术	匡 明 李友明 钟万波 陈拥军(420)
杭州湾跨海大桥 50m 箱梁整孔预制运输架设施施工方案研究	李友明 刘乃生 刘 阳 王树伟(428)
杭州湾跨海大桥 50m 箱梁 C50 海工耐久混凝土试验研究与实践	蔡以智 王树伟 陶缉生 彭清福(441)
浅层天然气对桥梁施工的影响及施工措施	杨静伟 冯永明(449)
杭州湾跨海大桥测量坐标系统若干问题探讨	肖根旺 许提多 朱顺生 周文健(452)
杭州湾跨海大桥竣工文件编制的总体思路	张宝胜(459)
超长不等厚钢管桩制作技术	朱才科(463)

杭州湾跨海大桥建设工程信息化管理系统建设	李 斌(470)
环氧粉末涂敷技术在杭州湾大桥钢管桩上的应用	徐旭锋 吴金岳 王玉定(477)
杭州湾跨海大桥钢管桩工程施工技术	汪德隆 刘雅清 黄增财 丁 健(485)
杭州湾跨海大桥工程海域典型承台套箱方案构思分析	方明山 谢红霞 (501)
杭州湾跨海大桥预制墩身施工技术	曾平喜 唐 衡 冯永明(510)
苏通长江公路大桥北索塔墩钻孔平台施工技术	刘先鹏 肖文福 张 鸿 左明昌 高纪兵 何官健(523)
苏通长江大桥北索塔承台特大钢吊箱沉放技术	肖文福 刘先鹏 左明昌 高纪兵 何官健(532)
苏通长江大桥现浇箱梁混凝土耐久性施工控制体系研究	耿大新 执 笔(541)
中国首座钢桥塔的加工与制作	彭更生 姜学全 郭志明(546)
南京长江第三大桥特大型深水基础施工	郭志明 冯良平(551)
南京长江第三大桥北主墩基础施工技术	李宗平 汪成龙(565)
南京长江第三大桥北塔钢—混结合段施工技术	胡冬勇 李宗平(573)
南京长江三桥钢塔柱施工	李宗平 唐 启 张六一(581)
南京长江三桥3号、1号试桩及北主墩钻孔桩施工技术	胡东勇 李宗平(598)
润扬长江大桥北汊斜拉桥主塔钢吊箱的设计与施工	冯兆祥 钟建驰 秦体达 蒋 波(608)
舟山西堠门大桥北塔桩基施工	杨如刚 龙 勇 徐国挺(614)
湖北巴东长江公路大桥(A标段)大吨位折线形自适应工具式牵索式挂篮设计构造	徐基伟 缙 勇 倪 虹 聂 东 徐国挺(620)
广东湛江海湾大桥施工综述	傅光奇 饶思礼(629)
江苏五河口斜拉桥关键施工技术	丁如珍(635)
江苏五河口斜拉桥主梁施工技术	黄海欧 曾宪柳(641)
山东滨州黄河二桥关键施工技术	罗楚良 戴明逊(647)
重庆石板坡大桥复线桥设计施工特点与控制中几个问题的考虑	向中富 黄海东 孙峻岭 祁仁俊 杨 忠 刘志辉(653)
大跨径桥梁施工期间结构强健性的风险评估研究	阮 欣 陈艾荣 石雪飞(659)
钢—混凝土连续组合梁桥施工全过程监测及数值分析	王景全 吕志涛 刘其伟 王 峰(665)
城市桥梁预制节段拼装技术研究	何维利(670)
超宽型桥面前支点挂篮构造分析及探讨	李生海 苏永会 丁忠诚(678)
特大型前支点挂篮设计	汪文霞(687)
东海大桥主通航孔斜拉桥拉索施工技术	陈万高 李胜利(693)
MSS无支架施工连续梁桥挠度控制	谢向阳 吕 延(700)
先简支后连续结构体系湿接缝施工顺序的比较研究	包碧玉 季文玉(707)
改进预应力孔道压浆工艺的一次实践	王心方 章曾焕(711)
中承式钢管混凝土拱桥施工关键技术	应国耀 姜 辉(715)
大风垭口公路隧道特大土石流、涌水设计施工技术	陈 骏 刘仁阳(721)
集成的悬臂浇筑预应力混凝土梁桥施工控制系统研究与开发	石雪飞 俞 雷 阮 欣(730)
强感潮河段超大直径钢围堰设计与施工	毛 奎 颜长春(735)
深孔大直径钻孔桩基础施工	马建勇 孙艳明(741)
大跨度斜拉桥的施工监控	蔡 敏 潘晨光(745)

III 结构分析与试验研究

杭州湾跨海大桥通航孔桥索塔锚固区节段模型试验研究	张奇志	叶俊能(753)
杭州湾跨海大桥混凝土结构耐久性监测系统设计	干伟忠 吕忠达 方明山 Michael Raupach 陈 涛	(758)
杭州湾跨海大桥高精度 GPS 高程在海中桥墩承台面施工高程控制的应用研究	肖根旺 许提多	朱顺生(764)
杭州湾跨海大桥行车安全风速标准研究	陈艾荣 王达磊	庞加斌(774)
外加电流阴极防护系统在杭州湾跨海大桥中的应用	陈 涛 陈 卫	吴全有(783)
杭州湾跨海大桥南航道主墩试桩分析	叶俊能 应凌云	龚维明(788)
杭州湾跨海大桥 70m 跨箱梁线形控制研究	吕忠达 周绪红 商岸帆 赵剑发 徐敬森 狄 谨 高志勇	戴 鹏(793)
杭州湾跨海大桥钢管桩荷载试验研究	王 华 凌 辉	茅 巍(799)
大跨径连续梁桥的合理成桥状态研究	吕忠达 周绪红 侯 健 狄 谨	戴 鹏(805)
大跨度斜拉桥非线性施工控制分析	崔 冰 董 萌	孟凡超(811)
南京长江三桥桥塔钢混结合段内力分布规律研究	李 乔 武焕陵 唐 亮	崔 冰(818)
南京长江第三大桥健康监测系统	武焕陵 崔 冰 唐 亮	李 乔(823)
荆州长江大桥高低塔斜拉桥辅助墩的受力影响分析	裴炳志 叶见曙 李学文	颜东煌(828)
钢斜拉桥索梁锚固方式研究	裴岷山	赵和平(834)
基于寿命周期成本(LCC)的桥梁设计方法研究	邵旭东	彭建新(840)
预应力混凝土受弯构件的延性试验研究与高强混凝土在桥梁工程中的应用	王 健 赵 卓	王用中(845)
考虑抗力劣化的既有钢筋混凝土桥梁车辆荷载取值研究	张建仁 王 磊	薛 雷(859)
连续曲线箱梁桥结构特性的分析研究	余 泉 项贻强 杨万里 王 林	朱建德(864)
移动模架施工 PC 连续梁桥悬臂段箱梁空间效应不利影响及其防治措施	曹三鹏 刘 钊 岳力强	胡安祥(868)
P.C. 变截面连续箱梁设计计算要点与难点探讨	葛胜锦	潘长平(873)
桥面连续结构行为分析与性能改善措施研究	向中富 敬世红 邓 华 何 畅	黄海东(880)
桥梁结构非线性有限元分析通用计算程序	童育强 向天宇 赵人达	(887)
三向预应力混凝土箱梁桥三维有限元的建模与分析	谢 峻	王国亮(897)
体外预应力钢—混凝土组合梁抗弯承载能力计算公式及试验研究	冉 嵬 王景全	刘 钊(901)
新桥规预应力混凝土箱梁腹板主应力计算	吕建鸣 陈云海	陈 可(906)
高墩大跨径曲线连续刚构桥悬臂施工阶段墩梁位移的非线性分析	王钧利	贺拴海(913)
连续梁桥模态试验研究	周勇军 赵小星 宋一凡	贺拴海(918)
内蒙古磴口黄河大桥预应力束孔道摩阻偏差系数试验研究	崔 凯 王全录	范振华(922)
高墩连续刚构桥墩风荷载风洞试验分析与研究	吕卫军 李加武	胡兆同(927)
预应力混凝土连续刚构基于两种计算模型下的对比分析研究	宋香娥	雷俊卿(932)
行波效应对大跨度刚构桥地震反应的影响	张 茜 张 伟	刘健新(937)
大跨度刚构桥考虑桩土相互作用的地震反应分析	卢启煌 刘健新	张 伟(945)
广西布柳河大桥收缩徐变模型的比选	张建仁 余钱华 汪维安 杨 胜	郭 坚(950)

大跨索桁桥静力优化研究	赵长军	徐 兴	(957)
大跨度预应力混凝土斜拉桥徐变效应对健康监测内力影响的研究	项贻强	王 林 汪劲丰	刘 琳(966)
斜拉桥索塔钢锚箱与塔壁混凝土拉力分配简化分析	华 新		(975)
灌河大桥地震响应分析及抗震设计	叶爱君	华 新	韩大章(980)
桩—土共同作用下连续梁桥柔性制动墩水平地震力荷载计算研究	吴重男	赵君黎	刘永波(986)
广东湛江海湾大桥抗震性能分析	邱新林		赵人达(990)
混凝土桥梁徐变计算方法的影响分析	陈云海		吕建鸣(995)
混凝土结构徐变参数识别	陈 宇	向天宇	赵人达(1004)
新旧规范徐变系数计算的比较	聂 森	赵伟新	王银辉(1008)
大跨径钢管混凝土拱桥收缩、徐变分析研究	顾安邦	余武军	陈庆军 刘成才(1014)
墩柱刚度对下承式刚架系杆拱桥动力特性的影响	丁文胜	刘 钊	孟少平(1024)
考虑风荷载作用的大跨度拱桥整体吊装法施工分析	胡庆安	黄友钦	朱 浩(1029)
双提篮拱桥的设计与静力稳定分析	王 纯	郭卓明	王 健(1035)
上海卢浦大桥钢箱拱节段模型(1:4)局部稳定加载试验与结构分析研究	章曾焕	王心方 赵 炅 史家钧	胡鸿畴 戴建国(1041)
钢管混凝土拱结构计算的三维空间虚拟梁单元法	周海龙		周水兴(1047)
钢管高强轻集料混凝土短柱轴压构件承载力研究	吉伯海	王晓亮	杨 明(1055)
大跨径钢管混凝土拱桥非线性静风稳定性数值分析	陈 峰		胡大琳(1060)
南昌生米大桥整体吊装法施工的抗风研究	黄友钦		刘建新(1067)
单肋钢管拱整体稳定及结构分析	周泳涛	李毅谦	李文琪 王相慧(1073)
重庆巫山长江公路大桥化学自应力钢管混凝土研究	沈国清	王铭琪	张佐安 何 利 姚德波(1079)
液体粘滞阻尼器的研究和试验	段玉凤		(1084)
液体粘滞阻尼器在桥梁工程上的应用和发展	陈永祁		(1090)
热铸锚与冷铸锚混合型吊索系统技术研究	葛竞辉		(1094)
CFRP 棒(索)锚具研发及在国内首座 CFRP 斜拉桥中的应用	蒋剑彪	崔 毅	张 敏 吴 刚(1099)
碳纤维预应力混凝土梁桥发展动向及其设计要点	杜进生		(1105)
碳纤维抗弯加固具有初应力的钢筋混凝土 T 梁数值方法研究	任 伟	吕颖钊	贺拴海 赵小星(1110)
荷载横向分布系数计算问题的研究	陈 可	崔亚楠	吕建鸣(1118)
新旧桥规中简支桥梁冲击系数计算和实验结果对比	钟文香		桂 滨(1128)
桥墩防撞问题研究的进展	陈国虞		(1132)
桥墩防撞装置的受力计算	罗林阁	曹映泓	陈国虞 王礼立(1140)
船撞桥墩撞击角度概率研究	林铁良	陈艾荣	王君杰(1149)
概率论原理在特大桥梁船舶撞击力计算中的应用	曹映泓		周 颖(1157)
超长直径钻孔桩若干问题讨论	龚维明		戴国亮(1165)
桩承载力自平衡法存在的几个关键问题	徐风云		黄文机(1170)
评桩基测试自平衡法	王伯惠		(1176)
防海洋大气腐蚀球型支座技术初探	胡选儒	陈 军	欧阳先凯(1187)

胶层厚度不均匀对板式橡胶支座耐久性的影响	黄跃平 胥 明 周明华(1190)
地震作用下梁桥梁体相对位移最大值计算方法探讨	王统宁 孟庆贺(1198)
跨海大桥钢管桩复合涂层与牺牲阳极联合防护方法的研究应用	李 京 陆卫中 赵 健 张立新 柯 伟(1203)
用 BEAM18x 单元替代三主梁力学模型	胡晓伦(1216)

IV 桥梁检测与加固改造

桥梁结构的病害分析与加固技术	陈明宪(1225)
T 形刚构桥梁的加固设计和研究	马健中 范立础 武志斌(1234)
桥梁健康管理与桥梁管理系统	李文琪 李毅谦 李连友(1250)
南京长江二桥超限运输治理	童义和 陈 辉 俞 健(1259)
超重车过桥对策研究	赵 煜 任 伟 吕颖钊(1263)
高速公路桥梁常见病害及检测、维修技术	汤广春(1269)
桥梁钢筋保护层劣化特点及施工控制研究	吴晓明 耿大新 华卫兵(1274)
利用钢筋阻锈剂来提高混凝土结构的耐久性	李文琪 温斌(1278)
体外预应力技术在旧桥加固中的应用	胡钊芳 肖 琦 胡志坚(1282)
在役连续刚构桥梁顶升技术及应用	李春轩 赵 煜 张充满(1286)
FRP 在墩柱抗震加固工程中的应用研究	魏 洋 孙运国 吴 刚 张 敏(1292)
云南怒江三达地斜拉桥换索工程	蒋剑彪 崔 毅 杜自力 王建荣 杨荣林(1299)
四川宜宾马鸣溪金沙江大桥维修加固技术	黄 勇 张佐安 李远达(1305)
采用钢管混凝土拱加固钢筋混凝土拱片桥一例	孙 斌 陆宗林(1312)
箱肋拱桥拓宽加固研究	闫 磊 吕颖钊(1316)
现代混凝土斜拉桥结构安全检测系统的研究	蔡 健 王梅芳 张非非(1323)
在役双曲拱桥加固技术	孟庆贺 王统宁 扬 枚(1328)

I 规划与设计

杭州湾跨海大桥设计与施工

吕忠达

(杭州湾大桥工程指挥部)

摘 要 本文全面介绍了杭州湾跨海大桥自然环境、设计、施工和主要新技术的实施情况。

关键词 设计与施工 郑家埭 水路湾

杭州湾跨海大桥是国道主干线同三线跨越杭州湾的通道,位于钱塘江入海的河口海湾,海湾北面为浙江省杭嘉湖平原与我国的经济中心上海市,南面为姚北平原和我国东南沿海重要港口城市宁波(见图1)。大桥北起嘉兴海盐郑家埭,跨越宽阔的杭州湾海域后止于宁波市慈溪水路湾,全长 36km。大桥建成后将缩短宁波至上海间的陆路距离约 120km。建设杭州湾跨海大桥对促进长江三角洲区域经济一体化发展、缓解沪杭甬地区交通紧张状态和加快同三线建设均具有重要意义。



图1 杭州湾跨海大桥位置图

一、海湾自然条件

杭州湾湾口南汇至镇海宽达 100km,湾顶澈浦至西三宽约 20km,总水域面积约 5000km²,平均水深 8~10m。大桥位于钱塘江起潮点下游 32km,距钱塘江口近 60km。桥位处海面宽达 32km,南岸滩涂长 9.7km,北岸滩涂长 1.4km。滩涂涨潮时一片汪洋,退潮时一片泥泞。

杭州湾是世界三大强潮海湾之一,水流、泥沙、海床运动复杂多变,在大桥河段大范围详细水文测验、地质勘察及长系列水下地形测量的基础上,通过物理和数值模型的研究,得出了大桥建设对上游泄洪和钱塘江涌潮基本没有影响,对乍浦港和南、北航道无明显不良影响的重要结论。试验得到的运行期和施工期床面冲刷高程,为设计和施工提供了重要依据。

根据 1930 年至 1999 年观测资料,与桥位毗邻的乍浦潮位站最高潮位 5.54m,最大潮差 7.57m,平均潮差 4.65m。年平均流速 2.39m/s,施工期间实测到的最大流速(HZ0302 站):落潮 4.18m/s,涨潮 5.16m/s,流向紊乱,潮流场错综复杂。2004 年 8 月实测最大波高:北岸站 3.23m,南岸站 4.72m。

杭州湾气象条件十分复杂,台风、龙卷风、雷暴及突发性小范围灾害性天气时有发生,2004 年施工期间先后遭遇七次台风侵袭。由于风、浪、流、潮和雾的影响,全年施工作业日不足 180 天。

桥位地质为第四系沉积层,主要为亚粘土、亚砂土、淤泥质亚粘土、粉砂、细砂、砾砂和中细砂等,属滨海平原混合型地层。上部软土层厚 20~45m,具有高含水量、高压缩性、易触变、抗剪强度低、承载能力低等特征。经勘探,桥址区第四系海相沉积层普遍发育有浅层生物气,气层分布范围广,埋深 45~60m,压力 0.4~0.5MPa,甲烷含量高达 85%以上,易喷发燃烧。浅层气虽对桩基承载力及地层沉降无明显影响,但处理不当可能对施工造成灾难性后果。软土层厚和存在浅层气是对本桥工程影响最大的两个不利地质因素。

桥位区地下水主要为第四系松散岩类孔隙水,地下水及海水对钢结构具有中等腐蚀性,地下水对混凝土无腐蚀性,海水对混凝土具弱腐蚀性。根据对海湾周边水工建筑物的调查,海水对钢和混凝土结构的腐蚀作用都相当严重,因此,在桥梁设计和施工中,防止钢和混凝土结构被海水腐蚀是一个重要课题。

二、设计概况

全桥总布置见图 2。其中,北航道桥为跨度 70m+160m+448m+160m+70m 钢箱双塔斜拉桥,南航道桥为跨度 100m+160m+318m 独塔钢箱斜拉桥。海上引桥跨度均为 70m(总长 18.27km),南岸滩涂引桥跨度 50m(总长 10.1km)。50m 和 70m 梁均为厂制预应力混凝土箱梁,先简支后连续。两岸陆地和北岸滩涂采用跨长 30m 至 80m 现浇连续箱梁。全桥主要工程数量见表 1,总工期五年,总投资 117.8 亿元。

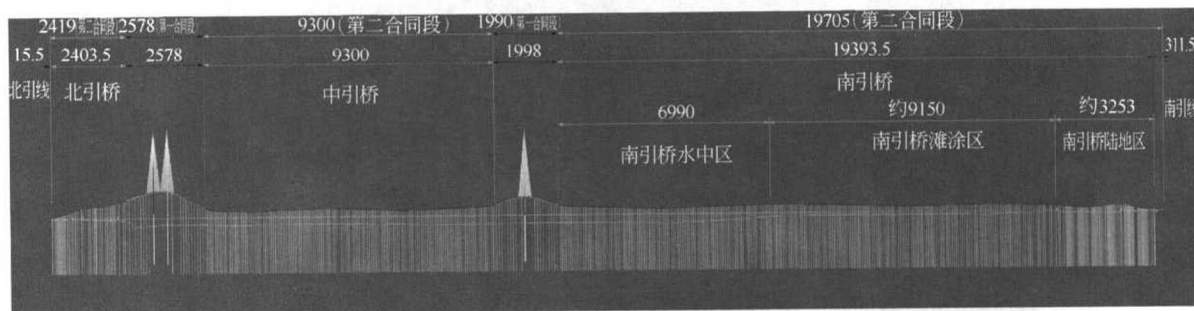


图 2 全桥分区图

全桥主要工程数量表

表 1

名 称	单 位	数 量	名 称	单 位	数 量
混凝土	10^4 m^3	245	各类现浇箱梁	孔	157
各类钢材	10^4 t	82	50m 预制混凝土箱梁	片	404
钢管桩	根	5164	70m 预制混凝土箱梁	片	540
钻孔桩	根	3438			

本桥设计除满足功能条件和桥梁设计的基本准则外,根据海上施工环境恶劣和工程规模浩大的特点,总体设计按尽量减少海上作业,减少施工风险的总原则,作以下安排:

(1)除南、北航道斜拉桥外,海上基础工程全部采用工厂化、机械化程度高,施工速度快的钢管桩基础。

(2)海上引桥(除少量高墩)和南岸滩涂引桥上部结构,全部采用大型预制结构。大型化、工厂化和预制拼装,既保证了工程质量,减少了海上施工风险,也大大加快了工程进度。

(3)立足于大型机械化作业。设计方案立足于大型机械化作业,是工程顺利实施的决定因素。

(4)南岸滩涂采用长栈桥施工,上部结构采用跨度 50m 箱梁,整孔预制,梁上运输架设方案,以解决 10km 滩涂引桥施工制约总工期的问题。

(5)对各类结构,特别是浪溅区以下的混凝土结构,进行专门的防腐蚀设计,确保结构的设计使用寿命。

(6)设计服从施工。对于海洋工程,设计应充分考虑施工的可行性和风险性。对风险大,工作条件特别困难的工程,根据施工条件调整设计,以最大限度降低工程风险。本桥塔型选择和海上承台高程设置等,就是在充分考虑施工难度,经反复比较后确定的。

在设计过程中,针对建桥条件共进行了 88 项科学研究和多项技术咨询,为设计提供了重要依据。正是因为前期工作比较充分,设计原则正确,所以较好地处理了各种关系,基本解决了海上建桥的关键技术,设计基本符合实际,为工程的顺利实施打下了基础。

三、GPS 全天候运行测量控制技术研究 with 实施

桥位处海面宽 32km,海上影响测量成果的外界因素复杂,大多数施工区远离堤岸,海上施工测量必须采用 GPS 技术代替常规测量方法布测平面控制网。

大桥 GPS 施工平面控制网包括首级网(图 3)和加密网。首级网是控制大桥整体位置的基准,并为海上 GPS 测量提供条件。

为满足平面和高程控制需要,在海中每隔 1.8km 左右首先安排第一批桥墩基础施工(称优先墩),利用 19 个优先墩承台上布设的 GPS 控制点和海上 B 平台上布设的 GPS 控制点(海上参考站点),形成海上加密网。首级网与国家控制网及 IGS 站联测,建立供施工实际使用的独立施工坐标系。

海中工程高程控制:先用 GPS 高程控制优先墩承台面高程,待优先墩承台全部建成后,用全站仪和对向观测的三角高程导线进行高程贯通测量。用贯通测量的成果修正优先墩 GPS 高程并用于后续施工的承台、墩身和上部结构施工的高程控制。

上述 GPS 平面和高程控制系统,主要关键技术有:

(1)建立连续运行的 GPS 参考站。

在两岸和海上共建立了三个作用范围和实时定位精度满足大桥基础施工放样要求的 GPS 参考站,采用自动控制和远程监控技术保证 GPS 参考站安全、可靠、高精度、全天候连续运行。

海上钢管桩施工,采用 GPS 实时动态测量(RTK)。参考站接收卫星信号,定位仪器同时接收卫星信号和参考站修正信号,实时平面定位精度 3~5cm,实时高程定位精度 5~10cm。系统连续运行两年来,保证了打桩船在海上不稳定状态下,数千根钢管桩均满足定位精度和高程要求。全桥贯通后,经复查,优先墩高程精度在 3cm 以内。

连续运行 GPS 参考站和 RTK 技术,在杭州湾跨海大桥的成功应用及在实践中形成的规程和细则,弥补了我国跨海大桥工程测量的空白。

(2)解决工程测量坐标系的建立问题。

工程测量坐标系的确立,是跨海长桥正确放样的关键。目前规范没有相应标准,因此要根据杭州湾跨海大桥的特殊性建立独立施工坐标系(称 54 工程 65m 高程坐标系统),避免用设计坐标系(54 坐标系



图3 杭州湾大桥首级控制网图

统)放样造成桥长缩短 4.559m 的误差,从而确保桥墩及上部结构放样正确。

(3)用高精度 GPS 测量解决海上高程测量问题

这是一个国际性的难题。本桥创建的过渡曲面拟合法,使海上 GPS 拟合高程的测量精度优于 3cm,满足了海上优先墩承台施工高程控制的需要。同时使 1.5km 至 1.8km 长跨度的 GPS 拟合高差达到三等水准测量精度,解决了跨海三角高程测量时间长、要求条件苛刻及与施工的矛盾。在实践中制定和完善了海中高程贯通测量细则,使三角高程贯通测量的精度,达到三等水准测量精度,解决了跨海长桥用水准测量进行高程贯通测量的困难。

(4)GPS 打桩定位系统

该系统为船载 GPS 打桩定位系统,无通视要求,不受雨雾等气象条件限制,与常规方法比较,钢管桩定位实现了自动化,大大提高了工作效率。

上述四项研究成果成功地解决了杭州湾跨海大桥工区测量的技术难题,是测绘理论与工程实践相结合的成功范例,系统总体达到了跨海长桥工区测量的国际先进水平,并为类似工程提供了借鉴。

四、大直径超长钢管桩设计、制造、防腐和施工

本桥钢管桩直径分 $\phi 1500\text{mm}$ 和 $\phi 1600\text{mm}$ 两种。根据各区段的地质情况,桩长 71 ~ 88m,最长桩重 68t。数量多、直径大、超长超重是本桥钢管桩工程的特点。