

2010

组合结构桥梁 和顶推技术应用 学术会议 论文集

2010 Zuhe Jiegou Qiaoliang He
Dingtui Jishu Yingyong Xueshu Huiyi Lunwenji

《桥梁》杂志编辑部

杭州城投建设有限公司

杭州市城市基础设施开发总公司/

杭州市九堡大桥工程建设指挥部

编



人民交通出版社
China Communications Press

2010

组合结构桥梁 论文 和顶推技术应用 文集 学术会议 集

2010 Zuhe Jiegou Qiaoliang He
Dingtui Jishu Yingyong Xueshu Huiyi Lunwenji

主办单位:

《桥梁》杂志社

杭州城投建设有限公司

杭州市城市基础设施开发总公司/

杭州市九堡大桥工程建设指挥部

协办单位:

中交第二航务工程局有限公司

路桥集团国际建设股份有限公司

上海市政工程设计研究总院

武船重型工程有限公司

盈都桥梁钢构工程有限公司

武汉桥梁建筑工程监理有限公司

杭州天恒投资建设管理有限公司

浙江·杭州

2010年3月26—28日



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

该论文集分为组合结构桥梁、顶推技术应用和其他三部分,详细地总结了我国组合结构桥梁和顶推技术应用的发展现状,并对未来桥梁技术发展方向与需求提出了新的探索和思考,具有较高的学术性、实用性和参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

2010 组合结构桥梁和顶推技术应用学术会议论文集/
《桥梁》杂志编辑部等编. —北京:人民交通出版社,
2010. 3

ISBN 978 - 7 - 114 - 08305 - 1

I. ①2… II. ①桥… III. ①组合体系桥—学术会议
—文集②顶推法架桥—学术会议—文集 IV.
①U448.21 - 53②U445.462 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 042200 号

书 名:2010 组合结构桥梁和顶推技术应用学术会议论文集

著 作 者:《桥梁》杂志编辑部,杭州城投建设有限公司,

杭州市城市基础设施开发总公司/杭州市九堡大桥工程建设指挥部

责任编辑:张征宇 郭红蕊

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)59757969 59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京凯鑫彩色印刷有限公司

开 本:880 × 1230 1/16

印 张:33.5

字 数:1000 千

版 次:2010 年 3 月第 1 版

印 次:2010 年 3 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978 - 7 - 114 - 08305 - 1

定 价:100.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

杭州九堡大桥(即钱塘江八桥)全长 1 855m,是国内第一座全部采用组合结构的大型越江桥梁。主航道桥与非航道引桥分别采用大跨度连续组合拱桥和连续组合箱梁桥。组合拱桥与组合箱梁均采用多点同步顶推法施工技术。项目概算投资为 9.7 亿元,工程于 2009 年 3 月 16 日正式开工建设,计划于 2011 年 12 月 30 日前完成主体工程竣工验收。

为体现当今国际桥梁技术发展趋势,展现新理念、技术以及创新点,《桥梁》杂志组织编辑了《2010 组合结构桥梁和顶推技术应用学术会议论文集》。该论文集分为组合结构桥梁、顶推技术应用和其他三个部分,详细地总结了我国组合结构桥梁和顶推技术应用的发展现状,并对未来桥梁技术发展方向与需求提出了新的探索和思考,具有较高的学术性、实用性和参考价值。

本论文集得到了杭州城投建设有限公司、杭州市城市基础设施开发总公司、杭州市九堡大桥工程建设指挥部等单位的大力支持。在此谨向参加论文评审的各位专家、论文作者,以及对论文征集、编辑、审稿、出版等工作给予帮助、支持的朋友们表示衷心地感谢!

《桥梁》杂志编辑部

二零一零年三月

目 录

一、组合结构桥梁

1	杭州九堡大桥的建设理念与技术创新	俞菊虎	傅 翼	(3)
2	上海长江大桥组合结构连续梁技术特点	卢永成	邵长宇	张晓松(9)
3	九堡大桥工程总体设计	孔德军	盛 勇	卢永成 邵长宇(16)
4	九堡大桥连续组合箱梁桥面板设计	郭 磊	孔德军	卢永成 邵长宇(20)
5	九堡大桥连续组合箱梁设计	李 阳	孔德军	卢永成 邵长宇(24)
6	九堡大桥主航道桥拱肋设计	张春雷	盛 勇	卢永成 邵长宇(29)
7	九堡大桥主航道桥组合结构桥面系设计	邹小洁	盛 勇	卢永成 邵长宇(35)
8	组合结构桥梁研究与展望	刘玉擎	赵 晨	罗 杰(40)
9	斜拉桥混合塔结合部受力分析	王 戈	刘玉擎	顾民杰 马 磊(48)
10	混合梁结合部格室的长度影响分析	汪蕊蕊	刘玉擎	刘 荣(52)
11	钢-混凝土组合正交异性桥面板的开发应用	牟廷敏	赵人达	范碧琨 梁 健(57)
12	钢管混凝土组合结构在梁式桥中的应用	方填三	肖硕刚	程懋芳(63)
13	埋入式组合结构力学行为试验研究	李 乔	崔 冰	夏 嵩 赵灿晖 张育智(69)
14	九堡大桥主桥主梁应力不均匀性研究	苏庆田	王 巍	熊永光(79)
15	九堡大桥引桥主梁应力不均匀性研究	苏庆田	秦 飞	周瑛琦(84)
16	九堡大桥主桥拱脚节点局部受力分析	曾明根	周家兴	周瑛琦(88)
17	九堡大桥主桥吊杆锚固区局部受力分析	曾明根	卢俊丽	熊永光(94)
18	自锚式悬索斜拉组合体系桥梁施工	王宗仁	谯兰志	肖 英(99)
19	空间扭曲线形组合拱桥安装技术	舒大勇	李雄坤	何 勇 钟长森(111)
20	新型组合结构桥梁建设中的科研支撑体系探析	张 磊	傅 翼	匡勇江(116)
21	杭州市九堡大桥钢槽梁制造技术		代 钊	鄢云祥(121)
22	混合结构桥梁钢混凝土接头的设计理念与实践	刘雪山	胡 奇	刘安双 刘国祥(128)
23	钢-混凝土组合结构在重庆黄桷湾立交中的应用	张 伟	刘安双	刘帮俊(134)
24	重庆嘉悦大桥索塔组合锚固体系设计	刘小飞	乔云强	周 涛(137)
25	钢混凝土混合结构在城市高架大跨桥梁中的应用	何晓光	陆元春	郭卓明 马韩江(141)
26	大跨波形钢腹板 PC 箱梁桥	姜瑞娟	陈宜言	吴启明 林 松 易小纬 盖卫明(147)
27	组合结构桥梁的发展和应 用	陈宜言	姜瑞娟	林 松 吴启明 盖卫明 易小纬(163)
28	上海浦东中环线波形钢腹板 PC 组合连续梁桥设计	郭卓明	陆元春	左 涌 胡 洋 杨允表(175)
29	钢-混凝土组合梁桥设计总结与探讨		康 莉	曹 景(180)
30	钢桁架-混凝土板组合梁交接面有限元计算分析		康 莉	曹 景(184)

31	3 × 90m 变高度双层桥面连续钢桁梁管道桥设计·····	曹 景	刘志才	谢宝来(190)
32	杭州九堡梁 - 拱组合体系拱桥施工过程模拟分析 ·····	向中富	易晋生	姚 平
33	体外预应力钢箱 - 混凝土组合弯梁桥抗弯性能参数影响分析 ·····	宗周红	刘蔚晓	夏樟华(201)
34	预应力钢 - 混凝土组合连续梁桥分析 ·····			甘 露(209)
35	一座波折腹板组合箱梁桥的设计 ·····			章世祥(214)
36	双线铁路 128m 简支下承式钢桁梁桥设计思路 ·····	朱 敏	任万敏	袁 明
37	钢梁节段在临时支墩上现场拼装成型工艺 ·····	侯 勇	陈克坚	杨咏漪(218)
				张海波(222)

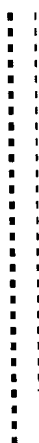
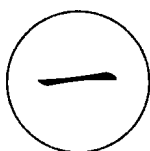
二、顶推技术应用

38	中国桥梁顶推技术综述 ·····	上官兴	付书林	万 艺	任 亮(229)
39	位于竖曲线上的组合结构桥梁顶推施工线形控制参数分析 ·····	熊永光	韩 萍	周瑛琦	林建平
40	大跨梁拱组合桥顶推法施工关键技术研究 ·····	张 鸿	张永涛	周光强	汪劲丰(244)
41	杭州九堡大桥 3 × 210m 跨组合拱桥顶推方案探讨 ·····	孙玉祥	杨 波	詹光善	舒大勇(255)
42	杭州九堡大桥主桥顶推方案比选 ·····	周光强	杨绍斌	申 蒙	白建伟(260)
43	组合结构桥梁顶推施工监控策略研究 ·····	朱少杰	杨 波	汪劲丰	张治成(266)
44	钢槽梁组合结构顶推过程受力特性分析 ·····	吴 峻	傅 翼	袁 旻	林建平
45	组合结构桥梁顶推法应用的发展综述 ·····	张 磊	谢晓波	傅 翼	汪劲丰
46	九堡大桥结合梁 - 钢拱组合体系顶推过程中的受力性能研究 ·····	沈利栋	韩 晗	熊永光	叶贵如
47	九堡大桥引桥钢梁顶推过程中受力性能 ·····	苏庆田	孙一鸣	傅 翼	张治成
48	九堡大桥主桥顶推施工过程稳定性分析 ·····	杨国涛	傅 翼	周瑛琦	汪劲丰(279)
49	九堡大桥钢槽梁顶推施工关键技术 ·····	余运良	杨卫平	刘轶群	张治成(285)
50	九堡大桥钢槽梁施工方法研究 ·····	余运良	杨卫平	刘轶群	傅 翼(290)
51	自锚式悬索桥钢箱梁顶推施工临时墩及附属结构物结构设计介绍 ·····	唐红敏	王振阳	夏江南	余运良(294)
52	自锚式悬索桥钢箱梁顶推施工拼装平台及附属结构物结构设计介绍 ·····	唐红敏	刘振川	王金梁	杨卫平(303)
53	跨既有铁路单孔 128m 竖曲线箱梁顶推施工技术 ·····			李小和	王振阳(311)
54	大跨径空间扭曲钢箱拱制造技术研究与应用 ·····			魏 晓	刘振川(322)
55	自锚式悬索桥钢箱梁顶推施工受力分析 ·····	郑则群	房贞政	杜启文	王金梁(327)
56	顶推钢箱梁节段定位高程的确定方法 ·····	李传习	董创文	张玉平	柯红军(348)
57	桥梁顶推施工技术在宽浅河流上的应用 ·····			孟 涛	王振阳(352)
58	柳州双拥大桥钢箱梁顶推技术研究 ·····	林智敏		蒋劲松	王振阳(357)

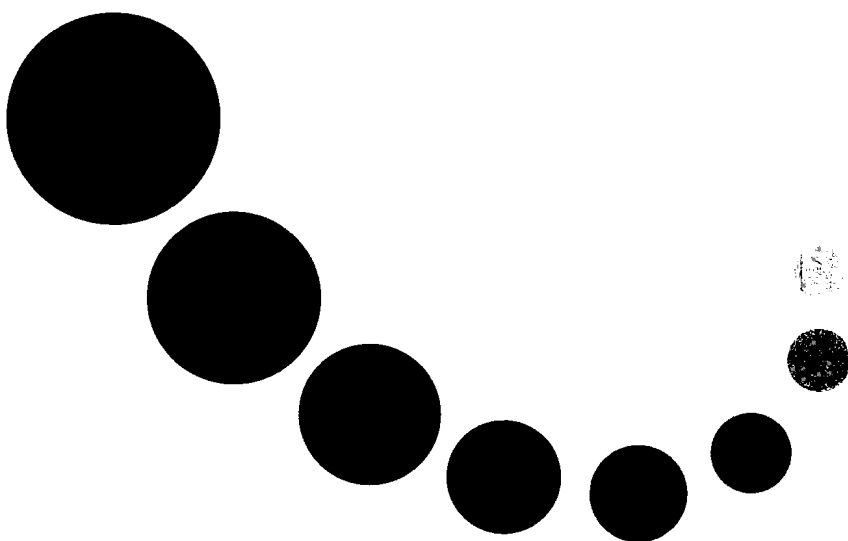
三、其 他

59	杭州九堡大桥桥型方案比选与景观设计 ·····	刘秀芹	盛 勇	卢永成(363)
60	杭州市九堡大桥钢结构防腐涂装体系简介 ·····	刘轶群	余运良	刘振川(369)
61	高性能海工混凝土在冰冻海洋环境中的应用 ·····	魏鹏程	夏江南	刘轶群(376)
62	浅谈双壁钢套箱设计中的几点优化及启发 ·····	唐红敏	鲜正洪	余运良(381)

63	青岛海湾大桥红岛航道桥超大块段钢箱梁安装施工技术	欧阳瑰琳	吴 健	史双涛	夏江南(389)
64	大跨度斜拉桥平行钢丝索扭转问题的探讨	周晓华	钟永新(405)		
65	T 型刚构桥水平转体施工转体系统力学性能分析	冯希训	徐利平	陈 勇(412)	
66	特大型桥梁桥型方案确定程序探析	朱少杰	高元壮	马迪辉(418)	
67	浅析高模量复合纤维混凝土试配	刘 通	黄 道	刘轶群(426)	
68	太原市火炬桥索塔空间线型控制技术	黄 峰	何伶俐(430)		
69	空间弯扭钢箱梁制作技术		张仙禄(435)		
70	三拱面预应力混凝土刚性系杆拱桥空间受力特性初探	朱纯海	王明昌(444)		
71	实体墩盖梁墩顶配筋设计探讨	夏 至	孙家骏(450)		
72	预应力混凝土连续箱梁悬臂施工设计和施工中注意事项	王俊侠	陈 峻(457)		
73	斜靠下承式组合无推力系杆钢拱桥空间受力分析	周 莉	唐 颖	赵 伟	刘旭锴
74	尼尔森双吊杆钢管拱桥设计实践	高吉才	金庆利(470)		
75	热物理参数对混凝土箱梁温度场影响的敏感性分析	吴重男	潘志炎	乔仲发(476)	
76	樟林大桥主桥边跨箱梁裂缝成因分析与处理	季自刚	王 昕(482)		
77	桥梁工程中挤扩支盘桩水平静载荷试验研究	王占奎	梁彦伟(485)		
78	高频液振双套管水中灌注桩施工技术	梁彦伟	王占奎(493)		
79	江津观音岩长江大桥 A、B 梁段钢梁的安装	张 星	(497)		
80	江阴大桥原结构健康监测系统破坏原因	樊叶华	陈雄飞(503)		
81	崇启长江公路大桥南北引桥体外预应力体系	金 平	(508)		
82	集料含水率对混凝土施工配合比影响的试验研究	张小波	龚涌峰	胡怀玉	刘冠国
83	钢箱梁一次成桥技术		赵鹏贤(518)		
84	LSD 液压提升系统在桥梁加固中的应用	孙长军	窦勇芝	张枫林	梁 或(522)



组合结构桥梁



1 杭州九堡大桥的建设理念与技术创新

俞菊虎 傅 翼

(杭州市城市基础设施建设发展中心)

摘 要 九堡大桥采用了新型组合结构桥梁形式,创新了顶推施工工法,体现了全寿命经济性理念,作为我国第一座全桥采用组合结构的越江桥梁,旨在通过建设理念与技术的创新,为推动我国组合结构桥梁的发展作出贡献。

关键词 九堡大桥 建设理念 技术创新 组合结构 顶推施工

1 工程概况

杭州九堡大桥(即钱江八桥)是钱塘江(杭州段)规划建设的十座大桥之一,位于彭埠大桥(即钱江二桥)下游 5km,下沙大桥(即钱江六桥)上游 8km 处,北接东湖路,南接萧山科园大道,全长 1 855m,是杭州新一轮城市总体规划“两绕三纵五横”城市快速路网系统中东边一纵的主要组成部分。

九堡大桥道路等级为城市快速路,设置双向六车道,设计行车速度 80km/h,设计汽车荷载为城-A 级。标准段桥面宽度 31.5m,主桥根据结构需要加宽至 37.7m,行车道单向净宽 11.75m,两侧各设置 3m 宽慢行道。全桥孔跨布置为:55m+2×85m+90m(北侧引桥)+3×210m(主航道桥)+90m+9×85m+55m(南侧引桥)。主航道桥与非航道引桥分别采用大跨度连续组合拱桥与连续组合箱梁桥,是国内第一座全桥采用组合结构的大型越江桥梁(图 1)。

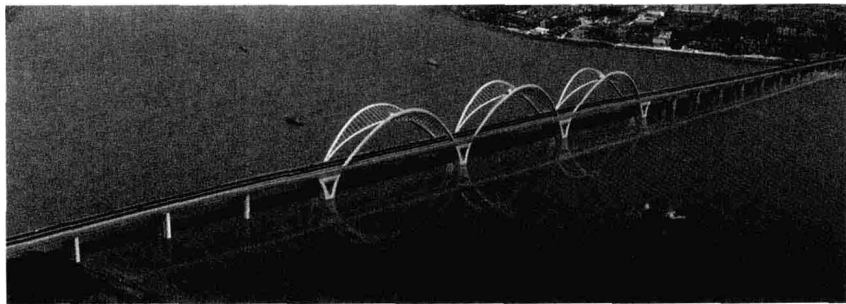


图 1 全桥鸟瞰图

项目概算投资为 9.7 亿元,工程于 2009 年 3 月 16 日正式开工建设,计划于 2011 年 12 月 30 日前完成主体工程竣工验收。

2 建设理念

钱塘江的自然条件决定了不可能在这里追求桥梁跨度的世界纪录,着眼于桥梁科技的发展,我们希望建成一座技术创新并且全寿命经济的大桥。

正因为确立了这样的建设目标,在桥型方案选择过程中,我们对各个比选方案从结构合理性、施工难易度、工程经济性、环境匹配度以及景观效果等方面进行了综合分析。混凝土结构桥梁具有取材方便、造价低等优点,但存在自重大、工期长、质脆、抗裂性差等缺点;钢结构桥梁具有自重轻、工期短、塑性与韧性好等优点,但存在造价高、防火性差、耐腐蚀性差等缺点;而组合结构可以充分利用两种结构优点,弥补各自缺点,实现节约钢材、

发挥混凝土性能、降低造价、施工方便、易于养护等特点,使结构具有全寿命经济性。

因此,我们采用了组合结构桥梁方案,希望通过九堡大桥的建设为我国组合结构桥梁的发展起到积极的推动作用,为我国桥梁建设的发展作出贡献。

3 技术特点

3.1 主航道桥

3.1.1 基础和下部结构

主桥下部结构采用 V 形薄壁墩, C50 混凝土, V 墩顶纵向横梁配预应力平衡水平力, 墩身形线顺接梁上拱轴曲线。对应主梁截面 V 墩分为两个独立 V 撑, 两个独立 V 撑通过统一的 V 墩台座与单幅承台相接。主桥各墩承台均为哑铃型截面, C35 混凝土, 承台顶面高程均为 +1.0m。桩基础采用 18 根 2m 直径钻孔灌注桩, 主桥各墩平均桩长 95m。

3.1.2 上部结构

主桥上部结构采用结合梁-钢拱组合体系拱桥, 支承跨径组合为 $188\text{m} + 22\text{m} + 188\text{m} + 22\text{m} + 188\text{m}$, 是连续结构(图 2)。拱桥主梁为等截面钢-混凝土结合梁结构。钢拱跨径 188m, 拱肋系统由主拱肋、副拱肋、主副拱肋之间的横向连杆以及拱顶横撑等构件组成。主拱肋外倾 12° , 立面矢高 43.784m, 是主要承重构件。副拱肋轴线为空间曲线, 立面矢高 33m。主副拱肋之间的横向连杆采用圆钢管, 间距 8.5m。

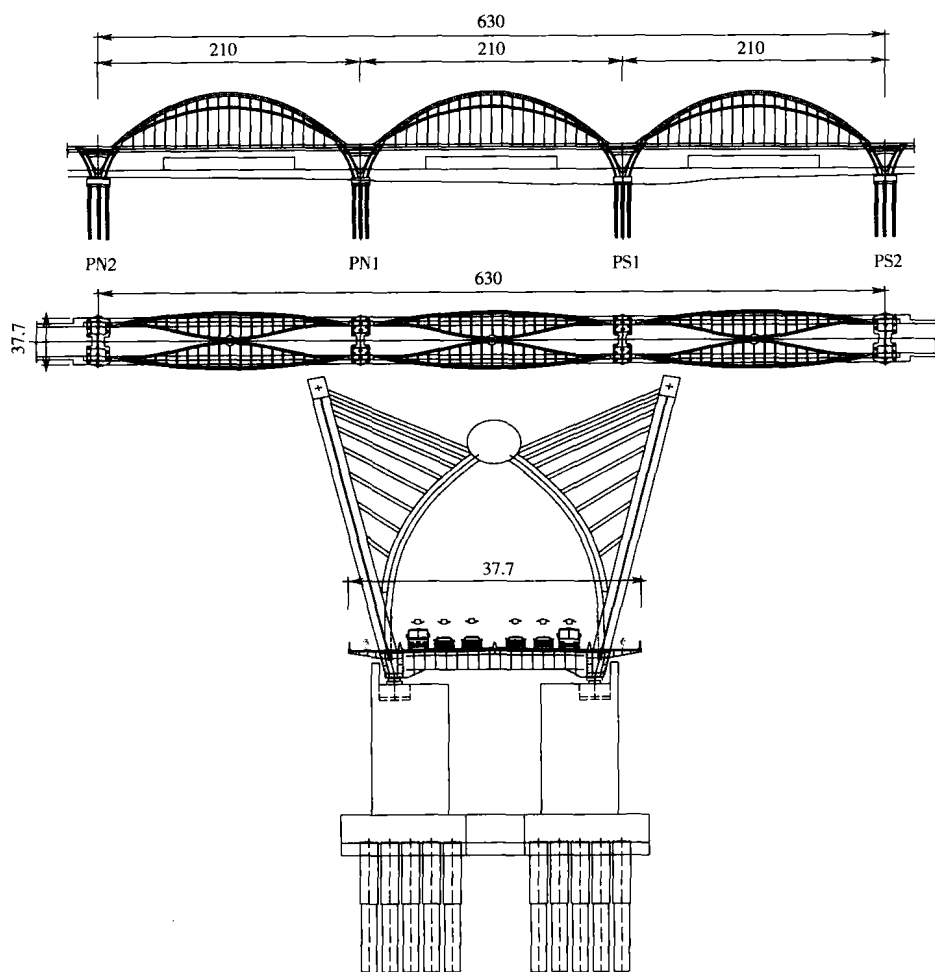


图2 主桥布置图(尺寸单位:m)

组合桥面系全宽 37.7m, 横向两侧窄箱形主纵梁间距 27.6m、梁高 4.5m, 纵梁之间设有间距 4.25m 的“工”字形钢横梁。人行道为钢结构, 置于主纵梁外侧, 其横向加劲肋与“工”字形钢横梁对应设置。桥面板采用 C50 混凝土、厚 26cm, 桥面板无预应力束, 纵向采用允许桥面板开裂、控制裂缝宽度的原则设计。钢主纵梁内部设系杆索。拱桥吊杆间距 8.5m, 吊杆上端锚固于主拱肋, 下端锚固于钢主纵梁, 全桥共设 57 对吊杆。

3.1.3 施工方案

桥梁下部结构钻孔灌注桩施工采用旋转钻机成孔, 主桥桩基利用钻孔平台辅助施工, 承台采取钢套筒围堰施工, V 形主墩采用劲性骨架配平衡架法分节对称施工。

主桥上部结构施工, 按照常规施工方案, 需在江上搭设临时墩和支架, 进行桥面系与拱肋安装, 施工难度大、造价高、对通航影响大, 而且质量、安全隐患多。为了优化施工方案, 主桥采用了拱梁整体顶推的施工方法(顶推设备如图 3 所示), 即钢拱与钢梁在岸上先期组拼一体, 配合钢梁与拱肋之间的临时杆件共同受力, 进行整体顶推。每拼装完成一孔顶推一孔, 直至 3 孔主拱全部顶推到位(图 4)。然后按照顺序张拉吊杆并拆除临时杆件, 铺设预制桥面板并浇筑接缝混凝土, 完成桥面施工。

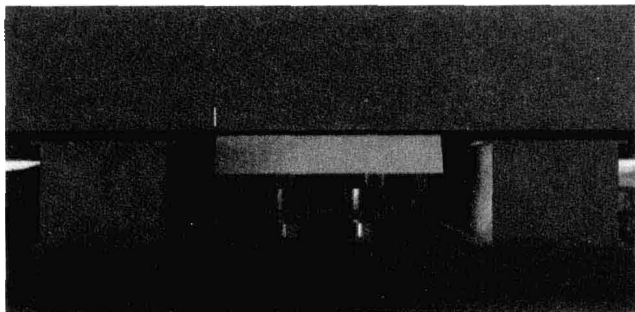


图 3 顶推设备示意图

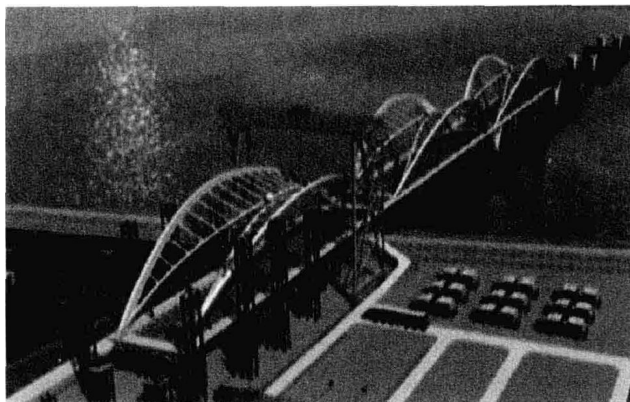


图 4 主桥第三孔顶推示意图

主桥顶推施工时, 210m 跨间仅设置 1 座临时墩, 这在世界上属首次。

3.2 非航道引桥

3.2.1 基础和下部结构

引桥下部结构采用单体板式空心墩, 承台均采用倒角矩形形式, 桩基采用 5 根 1.8m 直径钻孔灌注桩, 桩长 90~95m。

3.2.2 上部结构

引桥以 85m 为标准跨径, 上部结构采用大悬臂的等高度单箱单室钢-混凝土组合结构连续箱梁。主梁结构断面由混凝土桥面板及整体成槽形的钢梁组成。槽形钢梁整体上由顶板、腹板、底板、空腹式横梁、实腹式横梁、腹板加劲肋、底板加劲肋组成。槽形钢梁顶面宽度 13.1m, 底板宽度 11.05m, 以 4.25m 的标准间距设置横隔系, 在支承处箱梁内侧由实腹横隔板取代横隔系, 在横梁位置设置撑杆及横向连接系统, 横向连接系统总宽度 31.5m, 在空腹式横梁位置设置外侧挑臂撑杆及内部撑杆支撑桥面板系统(图 5)。

预制桥面板采用 C50 混凝土, 横向由 3 块变厚度预制板组成, 内侧中板变厚范围 0.26~0.3m, 支点厚 0.3m, 结构中心线处厚 0.26m, 外侧边板变厚范围 0.22~0.3m。桥面板横向以 2 道腹板上翼缘为分割点, 纵向以 4.25m 间距的钢横隔系为分割点。组合箱梁的桥面板横向配有体内预应力, 纵向采用允许桥面板开裂、控制裂缝宽度的原则设计, 桥面板内无纵向预应力。

引桥桥面宽度 31.5m, 悬臂超过 8m, 梁中心线高 4.5m。整幅梁 31.5m 的宽度居于同类桥梁前列, 更是国内同类桥梁的首次实践。

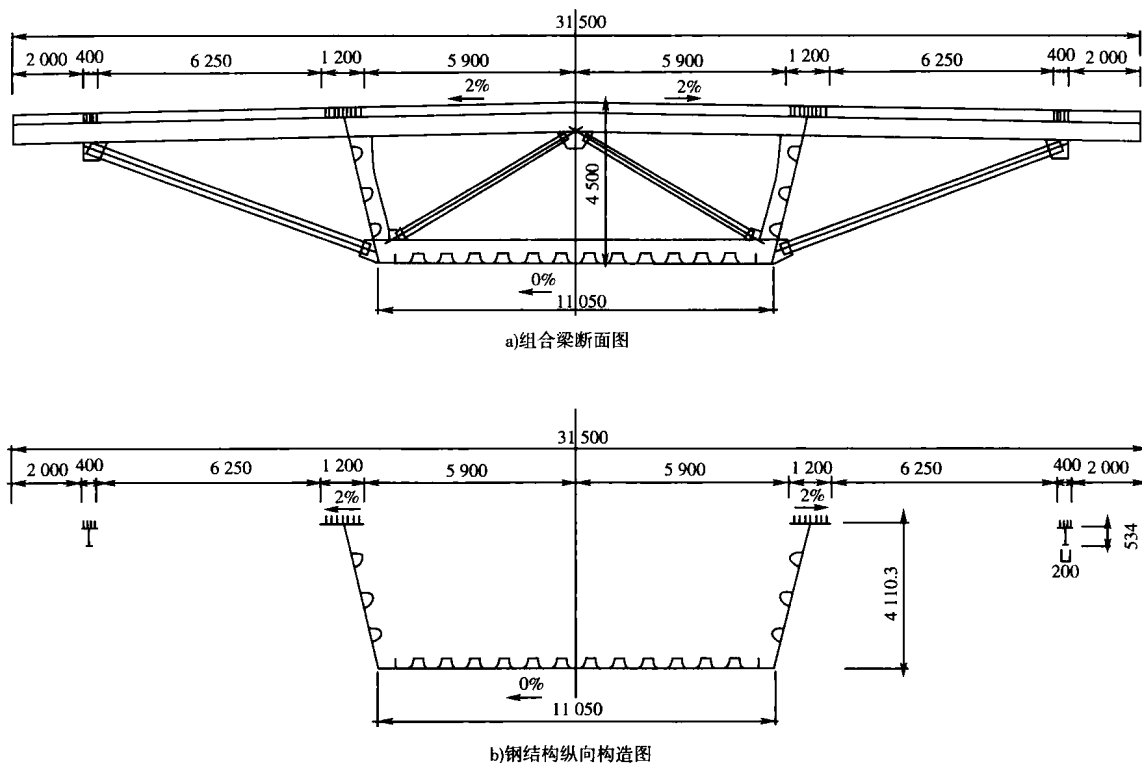


图5 组合梁断面图与纵向构造图

3.2.3 施工方案

引桥钢结构也采用顶推法施工。两岸均需要在岸侧搭设拼装平台,南北两侧引桥由各自岸侧开始顶推,以一孔梁长为单位逐孔进行,直至一联多跨钢梁全部顶推到位。再按照顺序铺设预制桥面板并浇筑接缝混凝土,完成主体结构的施工。预制桥面板的安装采用专用桁车与运梁台车配合进行,专用桁车与运梁台车的轨道设置在对应钢梁腹板处。

引桥顶推施工时,85m 跨间不设置临时墩,这在国内尚属首次。

4 技术创新

4.1 结构体系

主桥采用跨度 $3 \times 210\text{m}$ 结合梁-钢拱组合体系连续拱桥,桥面系为钢梁与混凝土桥面板组合结构;引桥采用 85m 标准跨径大悬臂的等高度单箱单室钢-混凝土组合结构连续箱梁桥;是国内第一座全桥采用组合结构的大型越江桥梁。

引桥采用大悬臂的整幅桥面,桥面宽 31.5m。整幅梁 31.5m 的宽度居于同类桥梁前列,更是国内同类桥梁的首次实践。

4.2 施工方法

非航道引桥的 85m 跨连续组合箱梁,在国内首次采用无临时墩顶推施工方案,相关实践经验将具有示范意义与重要参考价值。

主桥设计采用了顶推施工方案,并且 210m 跨间仅设置 1 座临时墩,这无疑是一次新的尝试,为拱桥的技术发展提供了有益的经验。

4.3 施工装备

主航道拱桥开发了大吨位多点同步顶推设备系统,非航道引桥开发了超长联多点连续顶推施工设备系统。九堡大桥的顶推施工不同于国内常用的推动或拖动梁体在支点上滑移的方法,顶推时不必对主体钢结构进行加

强,通过千斤顶的同步平衡控制技术保证结构受力的均匀与可靠,施工方法经济性好。

主航道拱桥研制了超高大型桥梁施工龙门吊,实现了超高、超宽与大吊重情况下的设备投入的经济性、质量可靠性及施工安全性;非航道连续组合箱梁桥研制了大尺度桥面板快速安装与运吊设备,为桥面板实现吊装快捷施工和准确安装定位提供了保证。

4.4 全寿命经济性

全桥桥面系采用钢梁与混凝土桥面板的组合结构,桥面板待钢梁施工完成后铺设。桥面板后期施工降低了主体钢结构的施工难度;同时运营过程中,只要钢结构完好,即使混凝土桥面板失效,整体结构仍然安全,这为桥面板的修补、更换创造了条件,为大桥的百年寿命提供了保障,体现了大桥的全寿命经济性。

5 科研内容与目标

5.1 总体目标

由于我国开展钢-混凝土组合结构桥梁应用实践较少,国内目前还没有钢-混凝土组合结构桥梁设计指南或规范,少量工程应用往往经济指标偏高,不能充分体现组合结构的技术经济优势。九堡大桥采用的新型组合结构形式,无论是在设计方法、施工工艺,还是在运营期的管理养护等方面,均选用开展深入细致地研究,为工程乃至组合结构的发展提供有力保证。因此,根据组合结构桥梁在我国发展所面临的技术瓶颈、技术突破关键点,从有利于促进推广应用以及提升桥梁耐久性、全寿命经济性角度出发,对这种新型组合结构桥梁从设计、施工和管理养护等方面开展了系统的理论和试验研究,通过系统地研究组合拱桥与组合箱梁桥的新体系、设计理论与方法、施工关键技术与设备开发、多灾害下的防灾减灾技术以及养护维修管理技术等,突破拱桥顶推与国内组合箱梁无临时墩顶推设计与施工工艺,解决大跨度组合拱桥与组合箱梁桥在设计施工及桥梁管理养护方面的核心技术问题,为未来组合结构桥梁的发展及其在国内的推广应用提供理论基础、技术支撑及实际经验,确保九堡大桥优质高效建成和长久健康运营。

5.2 设计理论与关键技术研究

九堡大桥所采用的大跨度连续组合拱桥和组合箱梁桥,由于其结构特点、受力特点以及施工过程的多样性,表现出明显的空间与过程受力的复杂性。结构整体受力性能、施工过程的力学行为、横向加劲系统空间受力问题以及传统的计算分析与设计方法的适用性、组合结构的混凝土板与钢梁之间的连接件存在滑移现象与受力剥离趋势等,需要从分析方法与技术措施角度加以研究。为此,针对连续组合拱桥开展了如下研究:组合拱桥新结构与关键构造、施工新方法开发、力学性能与分析方法、关键节点力学性能与合理构造、疲劳设计方法与结构疲劳性能等;针对连续组合箱梁桥开展了如下研究:连续组合箱梁新结构与关键构造、施工新方法开发、力学性能与分析方法、钢腹板稳定合理构造与极限承载力、钢与混凝土合理连接技术、施工阶段钢梁稳定性能与构造措施等。

5.3 施工关键技术与新工艺开发研究

九堡大桥设计在国内首次提出采用了大跨度组合拱桥和连续组合箱梁桥顶推法施工新技术,鉴于国内相关经验很少,需要通过研究解决施工所面临的关键技术,包括开发新型大吨位多点同步顶推设备系统、拱桥拼装设备、抗裂混凝土制备与桥面板预制以及复杂拱肋及拱梁节点高精度制造与安装技术等方面。为此,开展了如下研究:大跨度组合拱桥和组合箱梁桥的顶推施工与设备成套技术、无临时墩和少临时墩条件下顶推施工工艺、复杂拱肋及拱梁节点高精度制造与安装技术、大尺度桥面板预制技术以及快速安装方法和运吊设备、施工监控理论方法及软硬件系统。

5.4 防灾减灾与管养技术研究

尽管我国桥梁工程建设得到了跨越式的发展,但是在结构防灾减灾与耐久性方面存在的问题不容低估,由于考虑不当引起的桥梁结构局部损伤或结构抗灾能力不足时有发生,我国未来的桥梁建设迫切需要耐久性、使用性、环保性,长期以来重建轻养的状况尚未得到扭转,桥梁施工与运营过程中的风险管理以及运营期间的管理与养护方面仍有很多课题需要解决。为此,基于桥梁的耐久性、安全性及全寿命经济性,开展了如下研究:新型组合结构桥梁抗震与抗风性能数、混凝土材料性能优化及预防性养护技术、施工期和运营期风险评估及管

理策略、组合结构桥梁桥面板维修更换影响及预案、组合拱桥吊杆断索与损伤影响及更换预案、车桥耦合振动影响及对策、大桥结构健康监测与养护管理系统等。

6 结语

九堡大桥采用了新型组合结构桥梁形式,创新了顶推施工工法,体现了全寿命经济性理念,作为我国第一座全桥采用组合结构的越江桥梁,旨在通过建设理念与技术的创新,为推动我国组合结构桥梁的发展作出贡献。

参 考 文 献

- [1] 邵长宇. 组合结构桥梁——国际发展与国内展望[C]. 第十八届全国桥梁学术会议. 2008.
- [2] 邵长宇. 九堡大桥组合结构桥梁的技术构思与特色[J]. 桥梁建设, 2009(6).
- [3] 邵长宇. 大跨连续组合箱梁桥的概念设计[J]. 桥梁建设, 2008(1).
- [4] 上海市政工程设计研究总院. 杭州市九堡大桥工程施工图设计. 2009.

2 上海长江大桥组合结构连续梁技术特点

卢永成 邵长宇 张晓松

(上海市政工程设计研究总院)

摘 要 组合结构桥梁可以充分发挥钢与混凝土两种材料的优点,弥补各自缺点,使结构设计、施工、维修更趋合理并具有全寿命经济性,未来必将成为中国桥梁建设重要组成部分。本文着重介绍上海长江大桥非通航孔主跨 105m 钢-混凝土组合结构连续梁设计与施工技术特点。

关键词 跨江大桥 组合结构 钢结构 混凝土结构 双结合 钢梁预弯 支点升降法

1 前言

我国未来的交通发展仍然需要修建大量的桥梁,并且在保证安全性的前提下,迫切需要提高桥梁的耐久性、使用性、环保性。混凝土结构桥梁虽然短期养护费用低,但工期长、盐害与性能退化问题不可避免;钢结构桥梁结构性能最好,但其正交异性板桥面对重载的适应性较差,材料价格及加工成本也较高,在我国现有的经济条件下,钢结构主要还是用于大跨度桥梁。

自 20 世纪 30 年代以来,组合结构桥梁一直是欧美、日本等发达国家最为普遍采用的结构形式。他们建造了各种形式的组合结构桥,并且许多组合结构桥的设计与施工技术极具特色,充分体现了技术创新。组合结构桥梁可以充分发挥钢与混凝土两种材料的优点,弥补各自缺点,从钢桥与混凝土桥中找到共同结合点,使结构设计、施工、维护更趋合理并具有全寿命经济性。

组合结构桥梁主要具有如下优点:

- (1) 钢结构通过检查、维护和加强,寿命可达 100 年以上。
- (2) 混凝土板比钢正交异性板更适应重载交通,造价低。
- (3) 混凝土板在使用一定年限后有更新的可能。
- (4) 比钢桥结构刚度大,具有更好的抗冲击、抗疲劳与稳定性能。
- (5) 比混凝土桥结构自重轻,地震响应小。
- (6) 钢与混凝土板可分别制作、安装,施工灵活、便捷、速度快。

我国从 20 世纪 80 年代起,吸取国外组合结构桥梁先进技术与经验,先后在上海南浦大桥、杨浦大桥、青州闽江大桥、上海东海大桥、上海长江大桥等大型工程中采用了钢-混凝土组合结构梁,其中多座桥梁已健康运营近二十年。实践表明,组合结构桥梁是具有很强竞争力的桥梁结构,未来必将成为中国桥梁建设的重要组成部分。

2 上海长江大桥概况

上海长江大桥是上海崇明越江通道工程“南隧北桥”的重要组成部分,位于长江入海口,跨越长江北港水域,连接长兴与崇明两岛,全长 16.571km。大桥近期全线按高速公路标准建设,桥面设双向六个车道,两侧设连续硬路肩;远期将硬路肩改造后通行联络上海浦东与崇明岛的轨道交通线。

上海长江大桥是一座巨型组合桥,包括一座主跨 730m 主航道桥斜拉桥、一座辅航道桥和非通航孔桥。设计中主航道桥两侧的非通航孔桥型式进行了多方案综合比较,从减少河道阻水、结构耐久、施工便捷、经济合理、景观优美等多方面考虑,最终采用了主跨 105m 钢-混凝土组合结构连续梁。

该段桥梁处于半径 7 000m(北侧)、8 000m(南侧)的平曲线上,跨径布置为 90m + 5 × 105m + 85m,全桥共 2 联,总长 1 400m(图 1)。由于可以利用已有大型预制场及现场达 10m 以上的水深条件,所以确定主梁的施工采用在预制场整孔预制梁、大型浮吊水上运输至现场整体吊装,先简支后连续的施工工法。

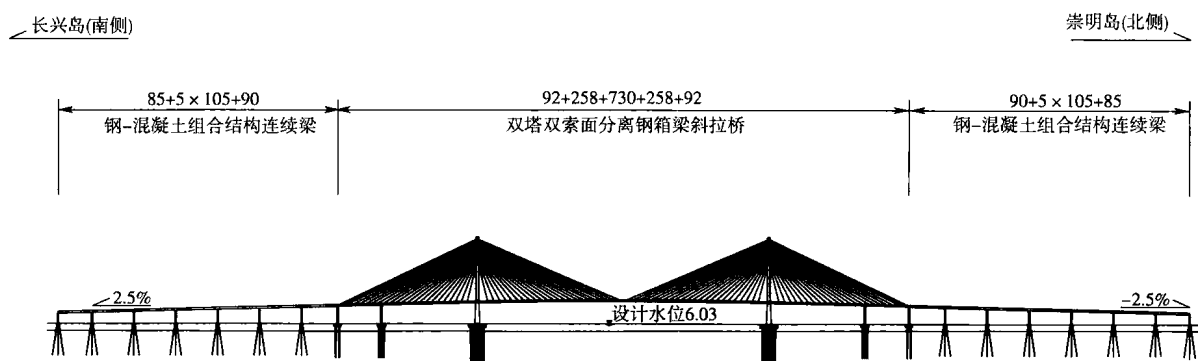


图 1 总体布置图(尺寸单位:m)

大桥于 2005 年 9 月开工,2009 年 10 月建成通车。

3 构造设计

桥梁上下行车道分成两幅桥,均采用单箱单室截面,桥面宽 17.15m,梁高 5m。主梁横断面由槽形钢梁与混凝土桥面板通过连接件结合而成(图 2)。

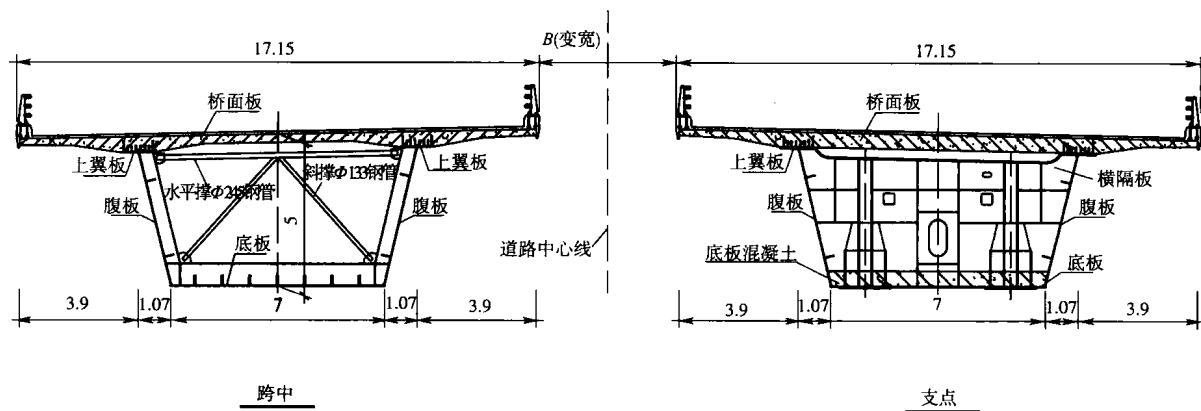


图 2 标准横断面(尺寸单位:m)

3.1 槽形钢梁

槽形钢梁按曲线设计,每段长 10m,由上翼板、腹板、底板、空腹式横梁、实腹式横梁、腹板加劲肋、底板加劲肋等组成。钢材以 Q345qD 为主、少量采用了 Q370qD。上翼板板厚 24 ~ 56mm、宽 1 200mm;腹板板厚 18 ~ 28mm,斜率约 1:4;底板板厚 28 ~ 56mm,宽 7.06m。腹板设 T 形或板式竖向加劲肋及间断布置的板式水平向加劲肋;底板上设纵向连续的板式纵向加劲肋;每隔 5.1m 布置一道空腹式横梁,可以减轻结构重量,方便施工与养护。支点及临时支点处布置实腹式横梁。

用钢量指标:实施方案(预留轨道交通空间)每平方米用钢量 359kg;比较方案(不考虑预留轨道交通空间)每平方米用钢量 310kg。

钢梁外表面采用电弧喷铝长效防腐技术,电弧喷铝层厚度 $160 \pm 40 \mu\text{m}$ 。钢结构内部设除湿系统,控制室内空气相对湿度在 50% 以下。

3.2 桥面板

桥面板采用 C60 高性能混凝土(要求混凝土坍落度控制在 5 ~ 8cm,以保证桥面板制作质量)。桥面板纵桥