

中国公路学会桥梁和结构工程分会

2010年

全国桥梁学术会议

论文集

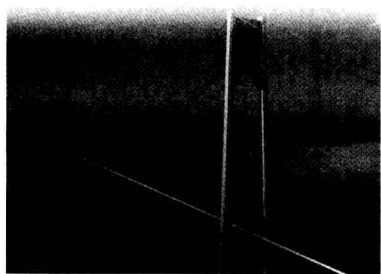


人民交通出版社
China Communications Press

中国公路学会桥梁和结构工程分会

2010年

全国桥梁学术会议



论文集

主办单位

中国公路学会桥梁和结构工程分会
南京长江第四大桥建设协调指挥部

协办单位

中交公路规划设计院有限公司
中交第二航务工程局有限公司
中交第二公路工程局有限公司
中铁大桥局集团有限公司



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书为中国公路学会桥梁和结构工程分会 2010 年全国桥梁学术会议论文集。全书共分四个部分:规划与设计、施工与控制、结构分析与试验研究、检测与加固。

本书可供国内外桥梁专业人员工作和学习时参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

中国公路学会桥梁和结构工程分会 2010 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, 2010. 10

ISBN 978-7-114-08719-6

I. ①中… II. ①中… III. ①桥梁工程—学术会议—文集
IV. ①U44-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 197225 号

书 名:中国公路学会桥梁和结构工程分会 2010 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

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)59757969, 59757973

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:北京市凯鑫彩色印刷有限公司

开 本:880×1230 1/16

印 张:62

字 数:1800 千

版 次:2010 年 10 月第 1 版

印 次:2010 年 10 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-08719-6

定 价:168.00 元

(如有印刷、装订质量问题,由本社负责调换)

中国公路学会桥梁和结构工程分会
2010 年全国桥梁学术会议论文集

编 委 会

主 编 王永珩 娄学全

副 主 编 张喜刚 孟凡超 殷 扬 武焕陵 彭更生

章登精 杨志德 田 欣 章德春 曾宪武

王仁贵 郭俊孔 崔 冰

责任编辑 张征宇

目 录

I 规划与设计

1. 南京长江第四大桥工程建设及关键技术 姜学全(3)
2. 南京长江第四大桥科研总体规划 武焕陵(12)
3. 深覆盖层地基上悬索桥锚碇基础的设计与施工控制 周世忠(22)
4. 南京长江第四大桥主桥设计概述 崔冰 董萌 宋颖彤 刘泽欣 常志军(25)
5. 南京长江第四大桥钢桥面铺装设计方案 姜学全 武焕陵 章登精(31)
6. 南京长江第四大桥北接线滁河大桥的设计与施工 王宏翔 罗明秋(41)
7. 波形钢腹板桥梁在南京长江第四大桥中的应用 彭更生 钟瑶(47)
8. 嘉绍大桥工程建设综述 钟海 桂炎德 宋卫国(53)
9. 嘉绍大桥总体设计 王仁贵 孟凡超 吴伟胜(58)
10. 嘉绍大桥多塔斜拉桥结构体系及其性能研究 王仁贵 林道锦 孟凡超 吴伟胜 林昱(68)
11. 渤海湾跨海工程简介和方案探讨(一) 王伯惠(72)
12. 渤海湾跨海工程简介和方案探讨(二)全隧道方案 王伯惠(83)
13. 青岛海湾大桥设计创新技术 杨晓滨 陈文明 王麒(97)
14. 鄂东长江公路大桥索塔锚固区抗裂设计 詹建辉 彭晓彬(106)
15. 我国多塔斜拉桥 楼庄鸿 王国亮 项星贇(111)
16. 吉林松原松花江大桥设计与施工 高东明 马大明(115)
17. 吉林宁江松花江特大桥总体设计 刘义河 胡雪峰 杨忠 陈维(123)
18. 某自锚式悬索桥总体设计与分析 田芳 雷俊卿(129)
19. 重庆朝阳复建桥关键技术研究 曹正洲 冯玉涛 赵进锋 张清海(133)
20. 武汉江汉六桥方案征集中的桥梁景观设计 胡斯彦 周安娜(139)
21. 钢桁腹—混凝土组合梁桥的发展与应用 张建东 刘钊 陈扬 黄华琪(144)
22. 轻型高速公路桥梁汽车荷载标准前期研究 刘晓娣 赵君黎(147)
23. 梁拱组合体系桥梁的受力特点与美学效果 马文刚 任远 黄侨(153)
24. 山岭重丘区高速公路桥梁标准化设计浅见 王剑 于利存 陈金涛 成超(158)
25. 长大公路桥梁紧急停车带的设计 于利存 王剑 陈金涛(162)
26. 现代桥梁钢结构防腐涂层体系设计 李运德 张亮 姜小刚 杨振波(167)
27. 群桩基础的等效墩设计方法 龚维明 于清泉 程晔(174)
28. 中国公路与铁路桥梁抗震规范比较与分析 刘舟 戴公连(181)
29. 海南南渡江大桥延性抗震设计 田卿 戴公连(185)
30. 海南南渡江大桥减隔震分析 刘从新 戴公连(192)
31. 具有特殊功能的液体黏滞阻尼器的设计与使用 马良喆 曹铁柱 陈永祁(198)
32. 桥梁工程的风险及风险分析方法 项贻强 张婷婷(207)
33. 高速铁路简支箱梁的设计与施工 陈玥 戴公连(212)
34. 介绍一种新型桥梁—悬带拱桥 冯阅 陈宝春(221)

35. 某道路立交桥有限元模型计算分析 冯同同 雷俊卿(225)
36. PC 连续梁桥腹板裂缝的防治 付书林 戴广鹏 上官兴(229)

II 施工与控制

37. 南京长江第四大桥“∞”字形地连墙设计施工技术创新研究
..... 娄学全 武焕陵 章登精 崔冰 钟永新(249)
38. 南京长江第四大桥南锚碇基础深基坑施工 彭更生 沈斌(258)
39. 南京长江第四大桥南锚碇基础地下连续墙施工 王超 周晓华(261)
40. 复杂地质条件下“∞”型地连墙成槽施工技术研究 高飞(264)
41. “∞”字形深基坑地连墙“Y”形槽施工技术研究 田雨金 钟瑶(269)
42. 地连墙接头施工工艺 田雨金(275)
43. 德国宝峨 BC-32 型液压铣槽机在南京长江第四大桥南锚碇地连墙施工中的应用
..... 周晓华 郁犁(281)
44. 南京长江第四大桥南锚碇固钢板吊装定位施工 汤叶帅 郁犁(285)
45. 南京长江第四大桥南锚碇深基坑施工监控技术 陈富强 刘毅(289)
46. 南京长江第四大桥北锚沉井关键技术研究 武焕陵 章登精 荆刚毅 董萌(295)
47. 南京长江第四大桥北锚沉井施工技术措施 武焕陵 沈斌(304)
48. 南京长江第四大桥北锚碇沉井降排水下沉施工期江堤沉降量控制技术
..... 彭更生 荆刚毅 朱文军 匡朋权(308)
49. 南京长江第四大桥北锚碇沉井空气幕助沉施工技术概述 濮卫 王承江(313)
50. “组合式助沉”技术在南京四桥北锚沉井基础施工中的应用
..... 田欣 郝胜利 荆刚毅 蒋能世(317)
51. PBL 键在大跨径悬索桥锚固系统中的应用 王承江 高飞(323)
52. 锚固板测量放样 余时民 度立新 李家辉(327)
53. 南京长江第四大桥索塔混凝土质量控制措施 戚兆臣 曲洪春(332)
54. 南京长江第四大桥北塔墩索塔施工技术 胡勇(339)
55. 南京长江第四大桥北塔防撞钢围堰设计及吊装浅析 周晓陵 张兆青(346)
56. 南京长江四桥北主塔双壁吊箱钢围堰施工技术 杨党国(350)
57. 南京长江第四大桥北塔钻孔桩基础施工技术 季袁飞(353)
58. 南京长江第四大桥 A2 标大体积混凝土施工技术 杨衍振(359)
59. 南京四桥锚体及索塔大体积混凝土有害裂缝防控措施 殷扬 章登精 濮卫 赵顺增(365)
60. 南京四桥南主塔夏季混凝土温控防裂措施 关羽 王超(372)
61. 南京长江第四大桥钢箱梁制造工艺及关键技术研究 王毅 冯斌(378)
62. 南京长江第四大桥主索鞍及散索鞍的制造工艺研究 王毅 冯斌(382)
63. 连续梁桥钢箱梁成桥全断面焊接技术施工实践 杨永(387)
64. 南京长江第四大桥节段预制拼装桥梁的技术特色
..... 武焕陵 崔冰 李宗平 孟少平 刘钊(391)
65. 南京四桥节段预制拼装桥梁的耐久性提升技术 王超 仝腾 濮卫 刘钊(395)
66. 南京四桥节段预制拼装连续刚构桥的合理施工顺序研究

.....	周 剑	王景全	刘 钊	(399)		
67. 节段预制箱梁预制关键工序及安装风险分析	冯 斌	杨树荣		(403)		
68. 南京长江第四大桥 E 标节段箱梁预制质量控制	张 翼	夏 辉	种艾秀	(408)		
69. 南京长江第四大桥 E 标高墩架桥机拼装技术研究	刘国义	刘立海	种艾秀	(416)		
70. 北引桥预制箱梁施工技术		石小龙		(421)		
71. 曲线钢箱梁桥顶推施工新方法	杜亚江	宗 海		(425)		
72. 特殊地质段钻孔灌注桩施工技术		奚林胜		(430)		
73. 碎石土层钻孔灌注桩施工质量控制		黄杨凯		(433)		
74. 南京四桥总体工程建设计划研究及关键线路控制	戚兆臣	魏玉莲		(435)		
75. 南京长江第四大桥建设工程安全生产管理工作中的创新思路与举措	罗明秋	葛宝翔		(441)		
76. 重大建设工程中现场安全生产目标定位与安全管理方式的探讨	葛宝翔	罗明秋		(446)		
77. 嘉绍大桥 $\Phi 3.8\text{m}$ 超大直径深长钻孔桩施工技术	曾平喜	于长海	唐 衡	徐生根	陈宏宝	(450)
78. 嘉绍跨江大桥主航道桥主塔承台施工	谭立心	张 敏	罗超云	曹宗勇		(457)
79. 节段箱梁短线匹配预制施工技术	杨 晖	王加升	吴 楠	张 牧	高 博	(465)
80. 三塔悬索桥施工全过程结构理想状态分析	张新军	李明贵	郭 辉			(473)
81. 悬索桥主缆缠丝拉力计算方法的研究		徐风云		陈德荣		(480)
82. 马鞍山大桥北锚碇沉井降水施工对长江大堤的影响分析	刘 毅	杨炎华		陈富强		(489)
83. 大跨径混合梁斜拉桥合龙技术研究与实践	刘明虎	谭 皓	徐国平	赵灿辉		(494)
84. 弹性悬链线解答在混凝土斜拉桥无应力状态法施工控制中的应用	张琪峰	王景全	许 嵩	陆 军		(500)
85. 灰色系统理论在斜拉桥施工控制中的应用				马 俊		(505)
86. 系杆拱桥吊杆改革的新构思	李俊伟	徐锡燕	安鸣晓	冯泉钧		(508)
87. 中山市长江路蝴蝶拱桥安装关键技术研究				周翰斌		(514)
88. 大跨度连续组合拱桥整体顶推施工辅助抗风缆索设计				邹小洁		(521)
89. 京沪高铁跨锡澄运河先拱后梁系杆拱施工技术	谢文祥	赵 战	孙艳鹏	王孝勇		(526)
90. 高墩大跨 PC 连续刚构桥施工监控研究	吴 美	袁 明	颜东煌			(532)
91. 高墩大跨弯梁桥的施工监控技术研究		吴 美	向学建			(538)
92. 跨南五环桥转体施工	任自放	周天涯	颜 勇			(544)
93. 北京轨道亦庄线预制箱梁运架技术	任自放	葛绍群	朱文平			(548)
94. 北京亦庄线预制梁厂模板设计与应用		徐永玲	陈兴慧			(552)
95. 福建樟林大桥主桥 V 形墩施工及受力分析			吴 云			(557)
96. 节段预制拼装桥墩的技术进展	陈志文	刘 钊				(564)
97. 移动模架高墩整体吊装技术	姚应洪	黄成伟	李赤谋			(569)
98. 预制混凝土底板吊箱围堰在海上桥梁承台施工中的应用			蒲少杰			(575)
99. 南京胥河大桥水压爆破拆除施工及安全评估	金广谦	龙 源	徐全军			(579)
100. 大型潮汐河道桥梁的基础施工风险评估	吴天真	张婷婷	项贻强	吴强强		(585)
101. 桥梁工程高强混凝土强度无损检测技术的试验研究		国天远	张荣成			(592)
102. 《公路工程质量检验评定标准》中桥涵工程部分的演变与发展		楼庄鸿	王国亮			(597)
103. 松原大桥建设管理			马大明			(599)

104. 上海长江隧桥运营养护管理信息化的几点探索 董 敏 孙胜君(606)
105. 大跨度桥梁养护管理系统设计及评估方法研究 黄 侨 任 远 黄志伟(614)
106. 印尼苏拉马都大桥结构健康监测系统设计 杨小刚(619)
107. 宁波市外滩大桥前塔柱“竖拼竖转”施工技术 全 军 廖德川 鄢 伟(625)
108. 斜拉桥长期声学健康监测系统 李发明 刘斯琴(629)

III 结构分析与试验研究

109. 南京长江四桥主缆锚固结构模型试验 姜学全 李 乔 崔 冰 赵灿辉(637)
110. 基于 ANSYS 的悬索桥总体分析方法 董 萌 崔 冰(643)
111. 埋入式组合结构 PBL 剪力键力学行为试验研究
..... 李 乔 崔 冰 夏 嵩 赵灿晖 张育智(647)
112. 南京长江第四大桥黏滞阻尼器参数研究 董正方 王君杰(654)
113. 大跨桥梁钢桥面铺装病害调查及分析 章登精 杜亚江 王 晓 凌 晨(659)
114. 南京四桥钢桥面浇筑式沥青铺装高温稳定性研究 吴 俊 陈 研(665)
115. 大跨径悬索桥钢桥面浇筑式沥青铺装试验研究 潘友强 杨树荣 张志祥(670)
116. 新型环氧沥青混合料性能研究 宗 海 魏玉莲 王建伟(674)
117. 时温因子对环氧沥青混合料影响分析 魏玉莲 宗 海(679)
118. 节段预制拼装桥梁的模型试验研究综述
..... 聂永福 朱小康 王建超 郑开启 惠 卓 刘 钊(684)
119. 南京四桥 48m 节段预制拼装箱梁足尺模型试验 武煥陵 刘 钊 童育强 种艾秀(690)
120. 节段预制拼装桥梁键齿接缝试验研究综述 殷 扬 王建超 李甲丁 惠 卓(693)
121. 南京四桥预制拼装箱梁的现浇横隔梁水化热分析 朱小康 王承江 刘 钊(700)
122. 体内、体外混合配束设计若干问题探讨 郑开启 钟 瑶 孟少平 王景全(705)
123. 长曲线索预应力摩擦损失的实测研究 濮 卫 曹文生 翟可为 赵启林(708)
124. 鄂东大桥主梁钢—混结合部研究与设计 刘明虎 徐国平 刘 峰(713)
125. 基于模态频率测试的桥塔有限元模型修正 张兴标 沈锐利(719)
126. 桥梁拉索的寿命与安全问题 雷雨宏 石文学 汤国栋(724)
127. 基于拉压杆模型的斜拉桥索塔锚固区预应力设计 孟 杰 吴后伟 刘帮俊(732)
128. 无背索混凝土索塔斜拉桥施工控制参数敏感性分析 孙全胜 张清晨 郭晓光(736)
129. 大跨径钢—混凝土组合拱桥设计与节段模型试验研究 王邵锐 周志祥(742)
130. 拱轴线偏差对拱桥承载能力和稳定安全度的影响 徐风云 李向科(746)
131. 拱轴线线形对上承式劲性骨架拱桥结构内力影响分析 李 林 马 奎 李忠评(753)
132. 轻集料钢管混凝土轴压刚度的研究 周 宇 吉伯海 傅中秋 王晓亮(758)
133. 大跨径钢—混凝土拱桥新技术探索 王 彬 周志祥 蔡景毅(762)
134. 双钢管混凝土构件承载力计算公式分析 于 洋 李向科 陈德荣(767)
135. 钢筋混凝土箱形截面拱桥静动力性能的分析与试验研究 项贻强 李春辉 赵 阳(774)
136. 关于桥梁结构计算分析 黎志忠(780)
137. 折线配筋预应力混凝土先张梁的研究与应用 李 磊 邓军会(785)
138. 大跨度预应力混凝土连续刚构桥温度效应分析 张 坤 雷俊卿 张云必 闫燕红(791)
139. 考虑弹塑性发展的混凝土 D 区拉压杆模型 刘 钊 林 波(796)
140. 用等效荷载模拟实体有限元中的预应力 黄克超 张永辉 窦新航(800)
141. 基于横张增量法的混凝土桥梁有效预应力检评技术研究 郭 琦 贺拴海(805)

142. 刚构—连续组合单箱室桥剪力滞效应分析	孙全胜	郑 宇	(812)
143. 基于实测挠度修正的横向分布系数计算与应用	常 丁 岳振民 董 旭	成 超	(818)
144. 温度对混凝土结构长期效应的影响分析	许 航 李 飞	于佳玉	(821)
145. 箱形桥梁日照温度效应理论及降低温度应力技术研究	田 帅	于天来	(826)
146. 混凝土桥梁温度应力的梁端效应	彭友松 蒋自强 刘 泉	漆小军	(832)
147. 支承方式对小半径连续曲线箱形梁桥受力性能的影响研究		李茂奇	(836)
148. 预应力混凝土连续箱梁底板崩裂问题研究	俞 胜	陈德伟	(840)
149. 预应力混凝土梁管道摩阻试验和研究	陈海浪 胡 蒙	蔡金标	(850)
150. 恒载作用下墩的不同高差对结构性能的影响分析	蔡景毅 周志祥	王 彬	(855)
151. 桥墩的计算长度系数计算方法研究	谢 晖	周志祥	(863)
152. 桥墩刚度对高墩连续梁桥抗震特性的影响	王江胜 蔺鹏臻 刘凤奎	王根会	(868)
153. 墩底约束的模拟方式对高墩连续梁桥动力特性的影响	蔺鹏臻 王根会	王江胜	(870)
154. 孤山大桥大跨度斜腿刚构铰支承的设计研究	冯刚宪 杨卫锋 宋建平	王 勇	(873)
155. 梁式桥结构承载安全状态综合评估方法研究	罗 韧	冯 莹	(878)
156. 地震作用下混凝土桥梁倒塌破坏机理的研究	许慧荣	罗 韧	(885)
157. 基于混凝土耐久性的粗集料技术指标及控制研究		赵尚传	(892)
158. 基于 LS-DYNA 公路桥梁三维重车耦合振动有限元模型研究	赵 辉 陈水生 桂水荣	任永明	(897)
159. 连续钢桁架—桁拱组合桥节点的焊接残余应力分析	周 良 陈 玮	杨允表	(903)
160. 杭州九堡大桥 3×210m 组合拱桥顶推方案探讨	周光强 詹光善	舒大勇	(907)
161. 深水、大流速条件下大型沉井下沉河床防护技术研究	张 鸿	刘 鹏	(911)

IV 检测与加固

162. 基于有限元和虚拟现实的桥梁垮塌事故场景模拟初探	许 镇 卢 啸	陆新征	(921)
163. 山西风陵渡黄河公路大桥加固设计	贾界峰 赵井卫 刘延芳	涂金平 周泳涛	(928)
164. 有黏结预应力筋加固法的试验研究	马 莹 叶见曙	曹光伦 傅晨曦	(933)
165. 有黏结预应力加固法对梁抗弯性能影响的研究	孙全胜	王家伟	(938)
166. 箱梁体外预应力加固效果的分析	李俊波	张向波 崔振山	(941)
167. 预应力碳纤维板加固梁正截面抗弯性能分析	吴 美 徐振立	许宏元	(946)
168. 高速公路桥梁拓宽设计拼接时机优化研究	杨 斌 周新平	赵力国	(952)
169. 混凝土连续箱梁桥拓宽拼接方式研究	林国辉 林 晶 周新平	叶见曙	(956)
170. 桥梁顶升过程中不均匀位移的数值分析与施工控制	瞿 涛 汤修华 章宇强 徐声亮 陈冬华	吉伯海	(960)
171. 太原漪汾桥 7 跨同步顶升桥面系拆除技术	刘喜勇 王奇峰	李 松	(964)
172. 旧桥拆除安全性分析及对策		沈永林	(970)
173. 寒区桥梁破损现象和原因分析	孙全胜	戚元博	(975)
174. 静压桩加固桥梁基础设计	曾 丁 王国亮	杜金生	(979)

I 规划与设计

1. 南京长江第四大桥工程建设及关键技术

娄学全

(南京长江第四大桥建设协调指挥部)

摘要 南京长江第四大桥是1995年国务院批复的南京市城市总体规划中过江通道“五桥一隧”布局之一,在南京长江第二大桥下游约11km处,距长江入海口约320km,对于形成南京市“沿江成束、跨江成环、南北放射、内外沟通”的公路交通总体构架具有非常重要的意义。南京长江第四大桥的建设将进一步完善南京节点的国家级干线公路网,对加强江苏省与邻近省份的联系,促进江苏省、南京市的改革开放和区域经济发展将发挥重要作用。南京四桥跨江大桥采用主跨1418m三跨悬索桥,其中锚碇基础、锚固系统及上部施工等存在多项关键技术及创新。本文对南京四桥的建设工作和关键技术、创新点和建设过程中的一些做法作一介绍,供同行参考。

关键词 桥梁工程 悬索桥 关键技术

一、工程概况

南京长江第四大桥是南京市绕越高速公路的重要组成部分。南京市绕越高速公路,位于现有南京绕城公路外围,也可称为“南京高速公路外环”,沿线经过江宁区、栖霞区、六合区、浦口区,路线全长约147.1km。该公路横跨长江南、北两岸,将南京市南、北市区快速、便捷地联系在一起。它两次跨越长江天险,在长江上形成两个重要的跨江通道节点,其一便是在上游的南京长江第三大桥,另一个便是本项目——南京长江第四大桥(图1)。目前,南京市绕越高速公路上已经开工建设的有西南段,即南京长江第三大桥及两岸接线,2005年建成通车;西北段,与宁淮高速公路共线建设,2005年建成通车;东南段将于2010年10月通车;东北段已开工建设。本项目的早日建成对南京市绕越高速公路整体贯通,充分发挥跨江成环的交通优势起着决定性的作用,对南京市城市及经济发展具有极大的作用。

1. 桥型方案比选成果

工可拟定了三个悬索桥方案,即:主跨1650m双塔单跨悬索桥方案,南北锚碇距离2790m;主跨1420m双塔三跨悬索桥方案,对于斜拉桥方案而言,按主跨980m斜拉桥进行方案比选。工可报告推荐主跨1420m双塔三跨吊悬索桥方案(图2)。

初步设计对于主跨1418m两塔三跨悬索桥方案和主跨1620m两塔单跨悬索桥方案进行了同等深度的比选,见表1、表2。

南京长江第四大桥主引桥桥跨布置

表1

方案	北引桥	主桥	南引桥	总桥长
双塔三跨悬索桥	$(7 \times 30) + (7 \times 30) + (52 + 4 \times 65 + 37) + (6 \times 50) + (6 \times 50) + (7 \times 52) = 1733\text{m}$ PC连续刚构、PC连续梁、组合连续梁	166+409+1418+364+119m 钢箱梁悬索桥	$(7 \times 52) + (5 \times 50) + (6 \times 50) + (6 \times 52) + (6 \times 50) = 1524\text{m}$ PC连续刚构	5448m
双塔单跨悬索桥	$(7 \times 30) + (7 \times 30) + (52 + 4 \times 65 + 37) + (6 \times 50) + (6 \times 50) + (6 \times 50) + (5 \times 50) + (5 \times 50) = 2169\text{m}$ PC连续刚构、PC连续梁、组合连续梁	600+1620+550m 钢箱梁悬索桥	$(5 \times 50) + (5 \times 50) + (5 \times 50) + (5 \times 52) + (5 \times 52) + (4 \times 52) + (4 \times 50) = 1668\text{m}$ PC连续刚构	5457m

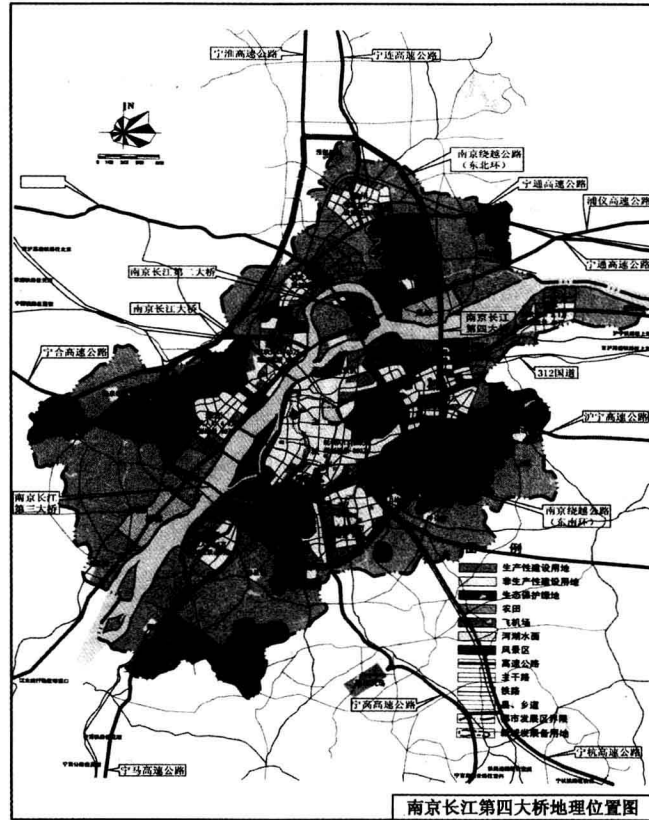


图 1 南京四桥位置图

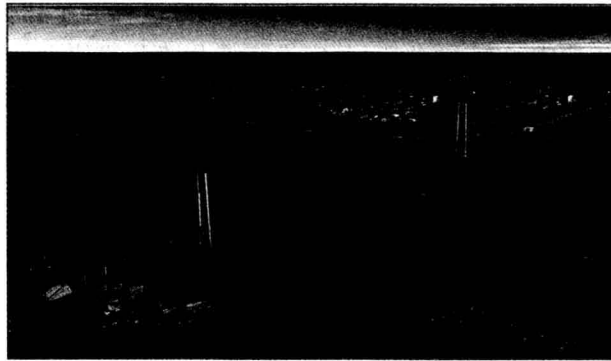


图 2 南京四桥效果图

双塔三跨与双塔单跨悬索桥方案综合比较

表 2

方 案	双塔三跨悬索桥方案	双塔单跨悬索桥方案
桥跨布置	583m+1 418m+479m 三跨连续	600m+1 620m+550m 单跨简支
结构受力及工程规模	主缆受力相对小,降低锚碇、桥塔及主缆工程规模	主缆受力较大,锚碇、桥塔及主缆工程规模相对较大
行车舒适性	好	较好
通航适用性	不占用通航线路及锚地,满足通航要求,且边跨具备一定通航能力	不占用通航线路及锚地,满足通航要求
对河势的影响	水中墩仅两主墩,对河势影响较小,对南北岸线基本无影响	北边跨引桥增加较多水中墩,其冲刷对下游一定影响;对南岸港池口门河床有一定影响
施工条件	水域施工,钢箱梁具备浮运吊装条件,但边跨部分区域需搭设少量栈桥	北大堤内引桥处于水域,施工难度相对较高
对环境的影响	相对较小	水域混凝土施工较多,对环境有一定影响

续上表

方 案	双塔三跨悬索桥方案	双塔单跨悬索桥方案
景观效果	结构基本对称,线条流畅,与周围环境协调	气势雄伟,与该地区已建悬索桥造型相似
施工工期	54 个月	57 个月
建安费/经济指标	17.654 2 亿元/24 406 元/m ²	18.148 1 亿元/33 947 元/m ²
推荐意见	推荐方案	比较方案

通过综合比较,初步设计选择双塔三跨悬索桥方案作为跨江大桥主桥推荐方案。

施工图按照初步设计推荐方案进行设计,采用主跨 1 418m 三跨悬索桥方案其跨径布置为(166+410.2)+1 418+(363.4+118.4)=2 476m。

2. 主要技术标准

- (1)公路等级:高速公路。
- (2)行车道数:双向六车道。
- (3)设计行车速度:跨江大桥设计行车速度采用 100km/h。
- (4)车辆荷载等级:公路—I 级。
- (5)大桥桥面宽度:33.0m(不含吊索区及风嘴)。
- (6)桥面最大纵坡:<3%。
- (7)桥面横坡:2%。
- (8)通航净空:最高水位以上 50m。

3. 建设规模

- (1)全长约 28.996km,其中:跨江大桥长约 5.437km;南北接线长约 23.559km。
- (2)设横梁、龙袍、栖霞、麒麟 4 处互通立交,预留浦仪、仙林 2 处互通立交。
- (3)项目总投资为 68.57 亿元。
- (4)建设工期 5 年。

二、项目审批情况

2003 年正式筹建南京四桥,并于同年完成了项目预可行性研究报告和市内审查。2007 年 11 月 19 日国家发改委正式批复了南京四桥工程可行性研究报告。2008 年 1 月 6 日,省委、省政府隆重举行了南京四桥奠基仪式;2008 年 6 月 26 日,交通运输部批复了南京四桥初步设计;2008 年 11 月 27 日交通运输部正式批复南京四桥施工许可,标志着南京四桥开工前的所有审批手续全部完成,具备了正式开工建设的条件。2008 年 12 月 28 日,省交通厅、南京市联合举行了南京四桥开工仪式,大桥建设全面启动。

三、南京四桥关键技术及施工概要

由于南京四桥特殊的建设条件和工程规模,存在着许多关键技术特点和难点,主要体现在建设条件复杂,地质条件差;结构控制因素多,设计难度大;工程规模大,外界影响因素多,施工技术复杂。结合南京四桥设计方案的特点,建设关键技术及概要情况主要有如下几点:

1. 三跨吊悬索桥跨径为国内最大,上部结构施工技术复杂

南京四桥采用主跨 1 418m 三跨悬索桥,目前该跨度在同类桥型中居国内第一,世界第三。桥梁跨径的大小,直接反映了该桥梁建设技术难度的大小。其桥梁结构形式决定了其施工工艺复杂,工序连接繁琐,施工工期较长。三跨悬索桥在主缆架设施工控制和主梁架设顺序有特殊要求,设计文件专门明确了各节段梁的架设顺序。为了在有限的工期内优质完成浩大的工程任务,需要在施工过程中实现有效控制,合理适度的安排施工进度,总体把握施工内容,使施工得以顺利进行(图 3)。

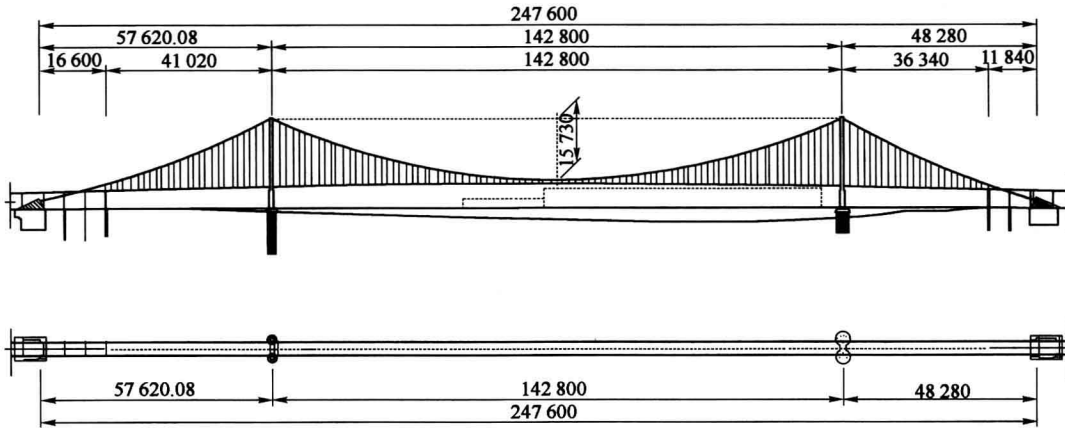


图 3 总体布置图(尺寸单位:cm)

施工概要:针对南京四桥为大跨度三跨吊悬索桥的特点,指挥部在做好各工序衔接的基础上,提前组织了上部施工方案征集,提前研究上下部施工统筹,并专门招标确定了上部施工监控单位。监控单位作为上部施工控制的指令中心,重点通过对主缆线性的控制,确保达到设计预期目标。目前,上部结构施工各主要技术方案已经编制完成并通过总监办审查,施工关键设备如跨缆吊机、缠丝机、紧缆机等已经开始加工制造。

2. 北锚碇采用大体积整体沉井基础

南京四桥北锚碇设计推荐采用超大规模沉井,沉井外轮廓尺寸 69m×58m 的矩形,沉井标准段壁厚 1.5m,基础底高程设置在-48.5m 圆砾层,下沉深度 52.8m,分 11 节,封底厚度 10m,顶板厚 6~12m,混凝土总方量达 189 000m³(图 4)。如此规模庞大的基础除必须解决沉井下沉顺利就位外,沉井封底施工、锚体大体积混凝土浇筑施工质量控制和岸坡稳定研究等都是施工中必须解决的难题。

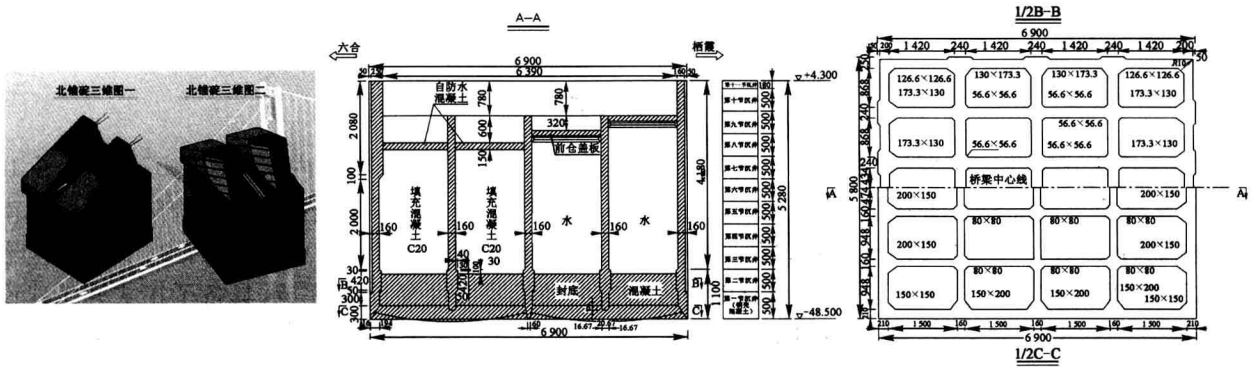


图 4 北锚沉井基础构造

施工概要:南京长江第四大桥北锚碇沉井其平面尺寸(69m×58m)为目前国内最大的陆地桥梁沉井。由于沉井所处位置濒临长江大堤最近约 80m,地质条件极为复杂,沉井基础底部支撑在层厚很薄的圆砾石层上,都给北锚碇沉井的下沉施工带来诸多不确定因素。面临的主要问题有:

- (1)针对北锚碇沉井结构设计凹凸 50cm 齿坎状,并结合北锚碇工程地质条件,在施工过程中,需做哪几方面的监控及如何埋设监控元器件,需要提前研究确定。
- (2)由于沉井降排水下沉施工功效高,如何在长江汛期来临之前,尽可能多的采取降排水下沉施工方法,首次接高几节后采取降排水下沉施工尤为关键。
- (3)在沉井下沉后期,需穿过较厚的密实砂层,地基承载力较大,最终沉井支撑在密实的圆砾石层,仅靠自重下沉困难。需要提前研究确定具体可行的助沉措施,以确保沉井安全、顺利地地下沉到位。

(4)沉井下沉施工过程不可见,下沉过程中抽水对长江大堤及附近结构物有不同程度影响,必须采用先进的监控措施和施工控制手段。

为解决上述诸多问题,南京长江第四大桥建设协调指挥部通过定期组织国内知名专家召开技术会议,对关键技术进行讨论。同时还联合参与单位积极调研相关项目、查阅大量资料、认真采集现场监控数据、严谨地进行科学分析,提出了以下对策:

(1)在南京四桥北锚碇沉井中采取“加厚沉井井壁增大重度系数”、“预设空气幕”的助沉措施;同时涉及在沉井井壁采用创新的凹凸型齿坎设计,其对沉井下沉起导向和助沉作用。

(2)委托长江勘测规划设计院有限责任公司对南京四桥北锚碇沉井排水下沉施工期对江堤的影响进行分析并制订防护预案。

(3)确定了超大规模沉井信息化施工监控总体方案,并在具体施工过程中进行了优化完善。

(4)通过对沉井分节、分次下沉情况的计算分析,确定了前4节采用整体降排水下沉施工,同时第5、6节部分采取降排水下沉施工,部分采取半排水下沉施工,保证了在长江汛期来临之前尽可能多的采取下沉效率高的降排水下沉施工方法,保证了长江大堤的安全营运,为整个南京四桥的施工赢得了先机。

(5)为保证首次降排水沉井结构安全,采用了先6个井孔的小锅底,根据对监控数据分析,在下沉到一定深度时扩大到大锅底的开挖方案。

2009年2月26日,顺利完成了北锚碇基础首节钢壳沉井的拼装合拢(前4节沉井采用排水下沉)。11月10日完成沉井最后一次,即第9至第11节的接高施工。此后借助空气幕助沉措施,12月17日顺利实现了北锚碇沉井下沉就位。实施过程中,特别是最后6m不排水下沉中,作为施工预案的空气幕助沉措施发挥了关键作用(图5)。借助空气幕,北锚成功避免了底部翻砂的风险,并高效、高精度地提前完成了下沉就位工作。

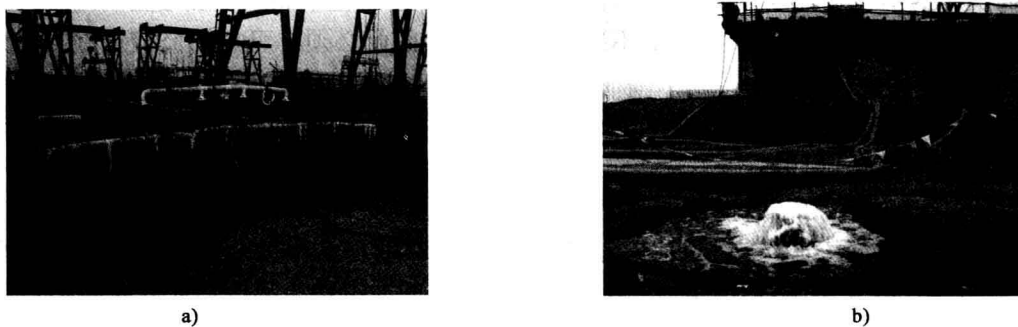


图5 空气幕助沉

根据检测结果,沉井终沉几何姿态为:顺桥向倾斜度 1/1511,横桥向倾斜度 1/289 88,扭转角度 $4'15''$,顶底口最大位移分别为 5.2cm、5.4cm,远小于设计及标准要求。统计表明,南京四桥沉井有效下沉时间内平均每天下沉速度达 1.03m,创造了大规模沉井下沉就位的新纪录。

3. 南锚碇基础采用“∞”形地下连续墙结构

南锚碇基础处覆盖层为第四系土层,主要有淤泥质亚黏土,松散~中密状粉、细、中砂,砂层北侧厚、南侧基本缺失,分布不稳定。下伏基岩地层为白垩系葛村组砂岩、砂砾岩,局部夹泥岩,由北向南基岩面起伏-38.120~-29.230m,岩石强度高,胶结性能好,无明显断裂形成的破碎带,裂隙不发育,自上而下岩石强度逐渐增加。

南锚碇分为锚碇基础和锚体两部分。南锚碇基础采用井筒式地连墙结构形式,平面形状为“∞”形,长 82.00m,宽 59.00m,由两个外径 59m 的圆和一道隔墙组成,壁厚为 1.50m(图6)。地连墙顶高程为 5.00m,底高程为-35.00~-45.00m,嵌入中风化砂岩约 3.00m,总深度 40.00~50.00m。地连墙施工槽段分 I、II 期两种槽段。地连墙 I 期槽段共 32 个,其中外墙 I 期槽段 26 个;隔墙 I 期槽段 6 个。II 期槽 33 个;II 期槽段长均为 2.80m。

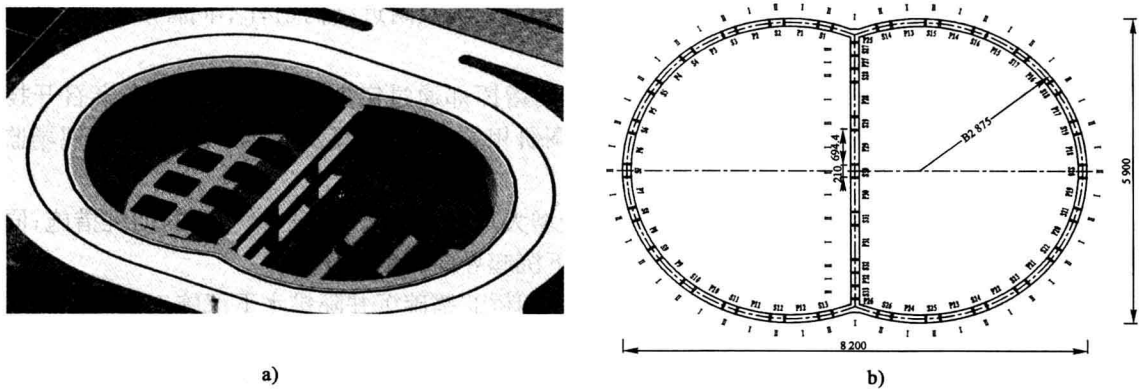


图6 南锚地连墙基础构造

施工概要:南京四桥南锚除必须解决地下连续墙和大体积混凝土浇筑施工外,由于南锚周边建筑多,施工场地小,距离长江大堤近,附近有输油管线的高危险源等,大面积开挖防水处理、岸坡稳定施工控制和风险非常大,还面临着不可预见的地质风险。

施工中面临的主要问题有:

- ①如此大规模“∞”字形基础国内第一,世界罕见,无成功设计、施工经验可借鉴;
- ②“∞”字形两个非完整圆之间的支撑对结构受力至关重要,传统的逆作支撑形式难以满足结构受力需要;
- ③“∞”形地连墙空间特性显著,在不均匀地质、两圆内土体不对称开挖等特殊情况下受力复杂;
- ④软弱土层中“Y”形槽段施工难度大;
- ⑤锚区周围构造物复杂,特别是紧邻的输油管廊、长江大堤,对基坑封水和变形要求高;
- ⑥岩土工程的复杂性,导致基坑受力的不确定因素较多,因此必须有可靠的监控措施及信息化施工分析手段;
- ⑦“∞”形深基础受力的复杂性,要求地连墙的施工精度极高,要求基坑开挖步骤及方式必须适应基坑的受力特性要求;
- ⑧“∞”形深基础施工存在较大的施工风险,在施工前必须研究制订可靠的预案措施。

施工单位中交二航局引进了一台目前最先进的德国产 BC32 型铣槽机国内自主施工,经试验槽段试验与摸索,并在施工不断总结中,形成了适用于南京四桥地质的冲击钻与液压铣配合成槽、“Y”形槽 5 铣成槽、“Y”形槽钢筋笼分节制作吊装等配套工艺,解决了“∞”形的地连墙成墙的难题。在基坑开挖施工中,运用采取了信息化施工技术,运用采取正反演分析等技术手段,指导基坑按“快挖快撑”的原则合理优化开挖与内衬施工工艺。事实表明,地连墙的设计与施工质量优良,封水效果良好,创造了整个基坑干开挖的奇迹(图 7)。

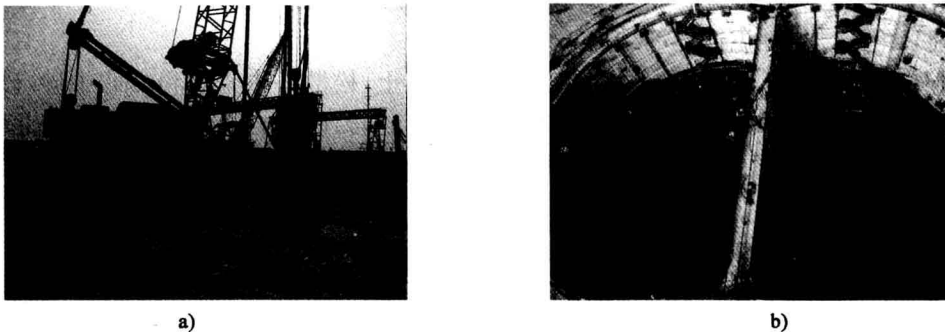


图7 南锚地连墙施工及基坑开挖

南京长江第四大桥南锚碇地连墙基础 2009 年 8 月南锚碇开始开挖,2009 年 12 月顺利完成底板浇筑,墙体累计最大变形为 12mm,相对位移仅为 0.03%,与国内外同类基坑变形相比非常小,围护结构各