

润扬长江公路大桥建设
THE COLLECTION OF RUNYANG YANGTZE RIVER BRIDGE CONSTRUCTION

吴胜东 / 主 编

黄 卫 钟建驰 吉 林 陈德荣 / 副主编



第三册

悬索桥



人民交通出版社

China Communications Press

润扬长江公路大桥建设

第三册

Suspension Bridge

悬 索 桥

本册主编 钟建驰

人民交通出版社

内 容 提 要

润扬长江公路大桥南汊主桥为主跨 1490m 的单孔双铰钢箱梁悬索桥,其设计、施工技术含量高、难度大。全书共分三篇,第一篇设计篇共 5 章,主要介绍设计条件、总体设计、下部结构设计、上部结构设计;第二篇施工篇共 5 章,主要介绍上、下部结构施工技术,包括北锚碇、北索塔、南索塔、南锚碇、上部结构安装等;第三篇制造篇共 5 章,主要介绍上部结构钢结构加工技术,如钢箱梁,主缆与吊索,主、散索鞍及索夹制作等。

本书可供从事大型桥梁设计、施工、监理与建设管理的工程技术人员阅读使用,也可供大专院校桥梁工程及其他相关专业师生学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

润扬长江公路大桥建设. 第三册, 悬索桥/钟建驰主编. —北京: 人民交通出版社, 2006.6
ISBN 7-114-06021-1

I. 润... II. 钟... III. ①公路桥-桥梁工程-江苏省②公路桥-悬索桥-桥梁工程-江苏省
IV. U448.14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 051827 号

书 号: 润扬长江公路大桥建设(第三册)悬索桥
著 者: 吴胜东/主编 黄 卫 钟建驰 吉 林 陈德荣/副主编
本册主编 钟建驰
责任编辑: 韩 敏 沈鸿雁
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: 48
字 数: 1351 千
版 次: 2006 年 5 月第 1 版
印 次: 2006 年 5 月第 1 次印刷
书 号: ISBN 7-114-06021-1
定 价: 109.00 元
(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

《润扬长江公路大桥建设》

第一册 《建设管理》

第二册 《科研·试验与勘测》

第三册 《悬索桥》

第四册 《斜拉桥》

第五册 《钢桥面铺装》

第六册 《立交·引桥及接线工程》

第七册 《交通工程》

第八册 《景观工程》

第九册 《摄影专集》

《润扬长江公路大桥建设》

编 委 会

主任委员

潘永和 吴胜东

委 员

(以姓氏笔画为序)

丁 锋	王建瑶	韦世国	王家勋	冯兆祥	吉 林
仲义正	朱安祥	沈德才	何伟华	李华伟	陆新民
陈德荣	陈 新	杨 宁	杨玉冬	杨国忠	杨志德
欧庆保	郑明珠	林 鸣	钟建驰	夏国星	黄 卫
游庆仲					

主 编

吴胜东

副主编

黄 卫 钟建驰 吉 林 陈德荣

编 委

(以姓氏笔画为序)

王家勋	王继献	方大东	冯兆祥	孙 伟	孙 铭
张 鸿	沈忠群	吴本智	吴连民	沈德才	张金铎
李爱珍	李爱群	陆新民	陈艾荣	杨玉冬	杨 宁
杨高中	杨根成	陈希增	周志芳	明图章	欧庆保
郑明珠	赵有明	赵 军	夏国星	夏何畏	侯国壮
徐 伟	秦体达	栗鹏飞	韩大章	程 刚	蒋振中
蔡泽斌	廖海黎	薛光雄	鞠金虎		

润扬长江公路大桥技术顾问组名单

李国豪 科学院院士、工程院院士(同济大学)
项海帆 工程院院士(同济大学)
陈 新 工程院院士(铁道部大桥局)
刘济舟 工程院院士(交通部)
梁应辰 工程院院士(交通部)
周君亮 工程院院士(江苏省水利厅)
孙 钧 工程院院士(同济大学)
曾 威 研究员(交通部公路科学研究所)
钱冬生 教授(西南交通大学)
戴 竞 教授级高工(中交公路规划设计院)

润扬长江公路大桥技术专家组名单

组 长: 胡希捷 交通部副部长
冯正霖 交通部副部长
副组长: 凤懋润 交通部总工程师
曹右安 交通部总工程师
成 员: 杨盛福 交通部专家委员会副主任
邹觉新 交通部专家委员会副主任
张之强 交通部公路司原司长
王 玉 交通部公路司副司长
李悟洲 交通部水运司巡视员
郑皆连 工程院院士, 广西壮族自治区交通厅副厅长
谢世愣 工程院院士, 中交第一航务工程勘察设计院副总工程师
周世忠 江苏省交通厅副厅长
经德良 湖北省交通厅原总工程师
王建瑶 中交公路规划设计院教授级高工
李守善 设计大师, 山东省交通厅总工程师
万珊珊 山东省交通厅教授级高工
陈德荣 交通部公路科学研究所研究员
林荣有 广东省公路工程总公司总工程师
孔繁瑞 中国路桥集团公司顾问, 教授级高工
胡明义 中国路桥集团第一公路勘察设计院副总工程师
陈申奇 中国路桥集团第二公路勘察设计院高工

总 序

润扬长江公路大桥是我国“十五”计划期间建成的一座最大的现代化组合型桥梁,连接扬州、镇江两座历史名城,联通京沪、宁通、沪宁、宁杭四条高速公路,并为国道主干线沪蓉、京沪高速公路增添了一条快速过江通道。因此,润扬大桥的建成,对改善扬州、镇江两市的交通运输条件,促进江苏沿江地区经济发展,加快实施以上海浦东为龙头的长江三角洲经济带的开发战略具有重大意义。

党和国家领导人对大桥建设十分重视关心,2000年10月20日,时任中共中央总书记、国家主席、中央军委主席江泽民同志亲自参加润扬大桥的开工典礼,为润扬大桥题写桥名,并挥锹为大桥奠基。大桥开工建设以来,胡锦涛、曾庆红、吴官正、李长春等中央领导同志先后亲临大桥工地视察,对大桥建设给予了充分肯定,并要求建设者高标准、严要求,把大桥建设成世界一流的精品工程。

润扬大桥是国内第一座由悬索桥与斜拉桥组合而成的特大型公路桥梁,其中南汊悬索桥跨径为1490m,比已经建成的江阴长江公路大桥长105m,为“中国第一”,与世界其他同类型桥梁相比,仅次于日本明石海峡大桥(1991m)和丹麦大带(Great Belt)大桥(1624m),列世界第三。此外,长1414m、净空50m的连接南北汊桥的世业洲高架桥及互通式立交规模也为国内罕见。

润扬大桥是目前国内建设标准最高、投资规模最大、地质水文条件最复杂、科技含量最高的特大型桥梁工程,代表了当今我国桥梁建设的最新水平。自开工以来,工程质量、施工安全、资金使用始终处于良好状态,未出现一起质量、安全事故,没有发生一起违法乱纪事件。经过全体建设者的辛勤努力,全桥将提前五个月于今年4月30日建成通车。润扬大桥建设进展如此顺利,工程质量如此之优,安全生产和廉政自律如此之好,经验是多方面的,但更新管理理念,坚持管理创新,实行科学管理、严格管理,是它的最大亮点。

润扬大桥建设管理具有以下特点:一是规划管理科学,把大桥建设定位在国际先进水平的目标上,并为此制定了详细而周密的总体计划实施大纲;

二是决策论证充分,在建设之前,历经 10 多年的论证研究,把必要性、可行性建立在坚实可靠的人才、技术、设备支撑基础上;三是管理思路开阔,集国内外多学科专家智慧,组成技术顾问和技术专家组,研究解决大桥建设中的重大技术难题;四是严格招投标工作,对关键工程引入带案招标方式,选择最佳设计、施工方案和施工队伍,实现了产、学、研强强联合;五是管理高效,管理手段先进,关键环节施工程序管理、工程计划管理、工程财务管理、工程档案管理实现信息化;六是以科技创新为后盾,充分发挥高校、科研院所和设计、施工、监理单位在科技攻关方面的群体优势,使科技创新贯穿于工程建设的各个环节。这些做法都是值得肯定的。

我们常说,科学技术是第一生产力,科技进步能促进生产力的发展。管理作为一门科学,有“第二生产力”之称。管理是生产力诸要素的粘合剂,是提高各种资源使用效率的基础性工作。对润扬大桥建设管理经验进行全面研究,认真总结,将极大地丰富我国大型交通建设工程的管理理论与实践内涵。润扬大桥建设管理经验作为一笔宝贵的精神财富,对其进行大力宣传、广泛推广,必将促进我国大型交通基建项目管理水平的进一步提高,使我国交通建设工程质量迈上新的台阶。

張青賢

二〇〇五年一月一日

前言

记得在2002年7月11日,印尼安置与地方设施建设部地方设施司总司长诺索恭都先生一行应我国交通部邀请,来我国考察特大型桥梁建设时,专程到润扬大桥工地考察,在考察过程中,他们不住地赞叹,多次以“真是不可思议”来表达考察感受。当时,我强烈地感觉到,现在我们国家能建这么高难度的大桥,真是一个了不起的飞跃!这也更坚定了我们很久以来的一个决心,就是在建设国际一流精品工程的同时,把建设的各个方面包括技术、设计、施工、监理、建设管理等方面的主要过程和教训记录下来,在为后人留下一座优质优美的桥梁的同时,也留下一笔可资学习借鉴的财富,为实现我国从桥梁建设大国向桥梁建设强国的跨越作出贡献,这也是江苏省政府、交通部领导和桥梁专家的殷切期盼。

润扬大桥,当今中国第一、世界第三的大跨径悬索桥,我国长江上第一座由悬索桥和斜拉桥组合而成的刚柔相济的特大型桥梁,于2000年10月20日正式开工建设,2005年4月30日顺利建成通车,历时54个月。在建设过程中没有发生一起质量、安全事故,没有发现一起违法乱纪的事件,工程质量优良,投资控制良好,并比计划提前5个月建成通车。这座优质、安全、环保、创新的宏伟桥梁工程的顺利建成,是与党中央、国务院的亲切关怀分不开的,是与交通部和江苏省委、省政府的正确领导分不开的,是与国内外成百上千的桥梁专家的关心支持分不开的,是与国家和江苏省有关部门、镇江、扬州两市市委、市政府和沿线人民群众的大力支持分不开的,更是与四年多来三万多名建设者的团结拼搏、赤诚奉献分不开的,可以说,润扬大桥是群策群智群力的结晶。

润扬大桥是我国桥梁建设者创造的又一座历史丰碑。它不仅是排除万难,克服诸如“非典”、暴雨、洪涝、酷暑等困难而取得的成果,更是站在前人肩膀上与时俱进、开拓创新,不断突破技术、管理难题而取得的成就。

建设者的创新精神在润扬大桥建设中得到充分的体现,他们围绕建设优质工程、放心工程、廉洁工程的目标,开拓创新,取得了富有特色和卓有成效的创新成果。在技术保障上,为了加强大桥建设的组织领导和技術保障,聘请了10位技术顾问,包括李国豪、项海帆、陈新、刘济舟、梁应辰、周君亮、孙钧等院士,成立了由21名国内知名专家组成的技术专家组,通过召开部省领导现场办公会、技术顾问会议和五次技术专家组会议,集中专家智慧研究解决重大技术难题。同时,针对工程建设重点和难点,积极组织设计、施工、科研单位和高等院校,以强强联合的方式开展了一系列科研技术攻关,内容涵盖了工程地质及岩土工程、桥梁结构工程、混凝土耐久性工程、大跨径桥梁施工技术、结构安全及健康监测、大型工程建设管理等方面,进行专题研究,并将研究成果及时用于指导工程实践。依靠这样一些技术保障机制,大桥锚碇工程、桥塔工程、上部结构安装、钢箱梁制

作与吊装,钢桥面铺装以及施工安全保障等技术难题得到了成功解决。取得的技术创新成果多达 25 项,其中,北锚碇地下连续墙施工、南锚碇冻结排桩施工达到国际领先水平。

在建设管理上,确立了“润扬大桥无小事、无易事、无虚事”的“无缝隙管理”理念,致力于管理机制创新。比如,聘请院士当总监代表,率先在全国公路建设中采用带案招标方式确定重大风险工程的施工单位和施工技术方案,实行科研机构强强联合科研攻关,对所有工程材料采购实行全面招投标和供应厂商准入制度,创造性地实行工程资金监管协议书制度,率先在全省重点工程建设中实行纪检监察派驻制度和廉政合同制度,对工程档案进行“三同步”管理,等等。这些管理机制的创新为优质工程、放心工程和廉洁工程的建设提供了扎实的制度基础。交通部领导认为,润扬大桥在抓工程项目管理上体现了规划管理科学、决策论证充分、管理思路开阔、管理方式手段先进高效快捷等显著特点。国务院八部委联合检查组也一致认为“润扬大桥工程是国内建设管理最好的项目之一”。

大桥建设期间,党和国家领导人江泽民、胡锦涛、曾庆红、吴官正、李长春、李岚清等领导同志亲临大桥工地视察指导,并指示,不仅要把润扬大桥建成为精品工程,为人民造福,而且要总结好建设经验,争取实现经济效益和社会效益双丰收。这对我们加强工程建设、做好建设经验总结工作具有十分重要的指导意义。

2002 年 7 月 11 日,我们组织参加润扬大桥建设的管理、设计、施工、监理单位的有关同志召开了《润扬长江公路大桥建设》第一次编写工作会议,正式启动了大桥建设经验总结工作。丛书内容主要包括建设管理,科研、试验与勘测,悬索桥,斜拉桥,钢桥面铺装,立交、引桥及接线工程,交通工程,景观工程,摄影专集共 9 个分册,总计约 500 万字。这项工作得到了大桥参建单位和参建人员的大力支持。近三年来,许多同志在紧张繁忙的建设工作之余,抽出宝贵的业余时间,挑灯写作,借此机会,向他们表示崇高的敬意和衷心的感谢。

由于参与编写的人员较多,而且受到时间和能力的限制,书中不可避免地存在疏漏甚至错误,敬请读者批评指正。

这套丛书的编写和出版,得到了交通部领导及桥梁界有关专家的支持与鼓励,也得到了人民交通出版社的大力支持,在此,一并向他们表示诚挚的谢意。

江苏省长江公路大桥建设指挥部现场总指挥 吴胜东

二〇〇五年二月二十八日

《润扬长江公路大桥建设》 第三册《悬索桥》编委会

主 编 钟建驰

副主编 吉 林 杨 宁

编 委 (按姓氏笔画排序)

王 峻 王继献 韦世国 冯兆祥 仲义正

孙金茂 陈 禹 李洪涛 沈忠群 沈良成

吴 浩 吴兆安 张 鸿 林 鸣 林海峰

明图章 罗国强 郑明珠 周 畅 侯国壮

赵有明 赵 军 郭长江 栗鹏飞 唐 轲

徐 伟 殷海华 崔 佳 韩大章 蒋 波

蒋振中 裴 捷 薛光雄 鞠金虎 魏德兴

《润扬长江公路大桥建设》

第三册《悬索桥》编审人员表

篇	章	编写人员	审核人员
设计	总体设计	韩大章、李正	郑明珠、吉林、杨宁
	桥塔设计	王立新	郑明珠、吉林、杨宁
	锚碇设计	彭德运	郑明珠、吉林、杨宁
	缆索系统设计	金卫兵、单宏伟	郑明珠、吉林、杨宁
	加劲梁系统	单宏伟	郑明珠、吉林、杨宁
施工	南锚碇	沈忠群、张志荣、揣国新、李海、文武、肖开军、陆卫国、林鸿芭	陈新、杨宁、王峻、崔佳
	北锚碇	吴浩、徐伟、宋二祥、罗承斌、何超然、张永涛、黄灿新、吕凤梧、杨玉泉	陈新、杨宁、殷海华
	南索塔主体工程	张永峰、李维俊、赵永军、朱金富	陈新、杨宁、王峻、唐轲
	北索塔主体工程	董其豪、谢祥财、潘桂林	陈新、杨宁、周畅
	悬索桥上部结构安装	薛光雄、闫友联、沈良成、赵有明、先正权、喻胜刚、金仓	杨宁、王峻、周畅、崔佳
制造	钢箱梁制造	姜玉春、曹东威、胡广瑞、杨洪志	杨宁、李洪涛
	悬索桥缆索系统用镀锌钢丝制造	孙金茂	冯兆祥、蒋波
	主、散鞍座制作	栗鹏飞、苏洪、王昶	冯兆祥、林海峰
	索股、吊索制作	宁世伟、卞安根、薛花娟、高科、陆建峰	杨宁、殷海华
	索夹制造	栗鹏飞、苏洪、王昶、刘祥、吴建平	冯兆祥、林海峰

全书审定：钟建驰

分 册 前 言

润扬长江公路大桥是江苏省规划的“四纵四横四联”公路主骨架和跨江公路通道的重要组成部分,是我国长江上首座采用悬索桥和斜拉桥相结合的特大型组合桥梁,其中南汊悬索桥为主跨 1490m 的单孔双铰钢箱梁悬索桥,该跨径目前位居世界第三,中国第一。该桥位于长江中下游镇江扬州段的南汊,江面宽约 1.5km,由于南汊为主航道,水运繁忙,为了避免对河势及航行安全的影响,选用一跨过江的悬索桥桥型。

在南汊悬索桥建设过程中,参与大桥建设的一桥四方团结一致、群策群力,营造出一种和谐向上、拼搏奋进的建设氛围。他们以创国际一流精品工程为目标,以先进的管理理念为指导,以严谨的工作方法为保证,精心组织、精心管理、精心设计、精心施工,依靠管理创新和科技创新,圆满完成了南汊悬索桥建设任务。

特别值得一提的是,两个锚碇基础首次在国内桥梁建设中,通过带案招标确定了最佳的设计、施工方案和施工队伍,这是一次大胆的尝试。最终确定北锚碇基础采用地下连续墙作为围护结构的矩形明挖基坑方案,基础外包尺寸 69m × 50m,开挖深度 48m,为国内第一、国际罕见的超大深基坑。南锚碇基础采用冻结排桩作为围护结构的矩形明挖基坑方案,基础外包尺寸 70.5m × 52.5m,开挖深度 29m,该工法为国际首创。两个锚碇基础所处的地质、水文条件复杂,设计、施工难度很大,实施过程中我们就工程设计和施工中的重大技术问题开展了一系列科研和施工技术与工艺的研究工作,并针对施工中可能出现的风险超前研究和制定了降低施工风险的预案措施。同时,积极采用新材料、新工艺、新设备,在基坑的施工过程中全面应用了信息化施工技术,优质、安全、高效地完成了南、北锚碇基础施工。

在建设期间,我们积极组织设计、施工、监理和有关科研单位结合工程开展科技攻关,除南、北锚碇特大基础关键技术外,还取得了十余项科研创新成果。在提高结构耐久性方面,在全桥范围内全面推广应用了低碱水泥,首次在国内采用除湿系统进行主缆防护等;为了提高大桥的整体刚度,改善短吊索的使用性能,在跨中设置了刚性中央扣结构;此外我们还组织进行了千吨钢吊箱整体吊装技术、高塔液压爬模技术,以及特大跨径悬索桥猫道结构抗风减振新技术、上部结构长距离牵引系统研究等多项施工新技术研究。这些成果的取得,不仅为工程的顺利实施提供了强有力的技术支持,并且推进了我国大跨径桥梁建设的技术进步。

陈新院士和陈申奇专家在百忙之中对本分册进行了函审,各参建单位的有关同志为本书的最终完稿付出了艰辛的劳动,借此机会,向他们表示诚挚的谢意。

由于水平有限,本书中的误漏在所难免,敬请读者指正为感。

南汊悬索桥主要参建单位如下:

设计单位:江苏省交通规划设计院

监理单位:大桥工程建设监理公司(下部结构)

中国船级社联合体(上部结构)

施工单位:中港集团第二航务工程局(北锚碇和北索塔工程)

路桥集团第二公路工程局(南锚碇和上部结构安装工程)

分 册 前 言

江苏交通工程总公司(南索塔工程)
中港集团第三航务工程局(南索塔工程)
中铁山桥集团有限公司(钢箱梁制造)
北京重型电机厂(主、散索鞍及索夹制作)
上海申佳金属制品有限公司(主缆钢丝加工)
江阴华新钢缆有限公司(主缆与吊索钢丝加工)
上海浦江缆索有限公司(索股制作)
江苏法尔胜新日制铁缆索有限公司(索股与吊索制作)

钟建驰

二〇〇六年四月八日

目 录

第一篇 设 计

第一章 总体设计	3
第一节 概述	3
第二节 自然条件	3
第三节 主要技术标准及设计指标	5
第四节 设计规范与标准	6
第五节 桥型选择	7
第六节 跨径布置	8
第七节 结构总体计算分析	10
第二章 桥塔设计	21
第一节 概述	21
第二节 主要材料及数量	21
第三节 桥塔基础设计	22
第四节 桥塔塔身设计	24
第五节 设计计算	31
第三章 锚碇设计	40
第一节 概述	40
第二节 材料及技术指标	41
第三节 南、北锚碇基础设计	41
第四节 锚体设计	51
第五节 锚固系统设计	55
第四章 缆索系统设计	61
第一节 概述	61
第二节 材料及技术指标	61
第三节 主缆设计	63
第四节 吊索和索夹设计	66
第五节 主索鞍、散索鞍设计	70
第六节 结构计算	72
第七节 附属工程	77
第五章 加劲梁系统	79
第一节 概述	79
第二节 材料及技术指标	81
第三节 加劲梁设计与计算	81

目 录

第四节 桥面系设计	99
第五节 支座设计	100
第六节 检查车和箱内小车设计	103

第二篇 施 工

第一章 南锚碇	109
第一节 南锚碇基础勘察设计	109
第二节 南锚碇基础施工	157
第三节 锚体施工	191
第二章 北锚碇	203
第一节 基础设计	203
第二节 北锚碇施工组织	264
第三节 北锚碇基础施工	268
第四节 基坑信息化施工	339
第五节 锚体施工	373
第三章 南索塔主体工程施工	401
第一节 工程概述	401
第二节 大直径钻孔灌注桩施工	404
第三节 承台、系梁及塔座施工	414
第四节 塔柱及横梁施工	426
第四章 北索塔主体工程施工	447
第一节 施工组织设计	447
第二节 索塔施工测量	455
第三节 索塔基础施工	462
第四节 索塔施工	484
第五节 液压爬模系统的引进、改造及使用	497
第五章 悬索桥上部结构安装	504
第一节 工程概况	504
第二节 总体施工布置	505
第三节 主、散索鞍的吊装	513
第四节 猫道架设	520
第五节 主缆架设	535
第六节 紧缆施工	553
第七节 索夹、吊索安装	557
第八节 加劲梁的安装	560
第九节 主缆的缠丝与涂装施工	577
第十节 施工监控与测量	593

第三篇 制 造

第一章 钢箱梁制造	611
-----------------	-----

第一节 概述	611
第二节 技术准备	621
第三节 板单元制造	645
第四节 梁段组焊与预拼装	654
第五节 钢箱梁梁段运输	667
第六节 梁段桥上焊接	673
第二章 悬索桥缆索系统用镀锌钢丝制造	682
第一节 概述	682
第二节 主缆镀锌钢丝的技术进步	682
第三节 主缆镀锌钢丝实物质量分析	687
第四节 吊索镀锌钢丝技术进步	689
第五节 缠绕镀锌钢丝技术进步	691
第三章 主、散鞍座制作	694
第一节 工程概况	694
第二节 施工组织	694
第三节 铸造、焊接及加工工艺的确定	695
第四节 主索鞍、散索鞍鞍头铸造	698
第五节 主索鞍、散索鞍装焊	699
第六节 主索鞍鞍体、散索鞍鞍座的精加工	707
第七节 承板、格栅及反力架的加工	712
第八节 安装板与聚四氟乙烯的粘结	715
第九节 主索鞍顶推试验	716
第四章 索股、吊索制作	718
第一节 主缆索股制作	718
第二节 吊索制作	729
第五章 索夹制造	741
第一节 工程概况	741
第二节 组织管理	741
第三节 质量保证	742
第四节 进度计划	742
第五节 索夹铸造	744
第六节 索夹加工	745
第七节 经济效益	748
第八节 经验总结	748