

京杭运河常州市区段改线工程建设丛书

QIAOLIANGSHIGONGGUANJIANJISHU

[第四册]

桥梁施工关键技术

● 常州市京杭运河和 312 国道南移改建工程建设指挥部办公室 编
● 江苏省常州市航道管理处



人民交通出版社

China Communications Press

京杭运河常州市区段改线工程建设丛书

[第四册]

桥梁施工关键技术

本册主编：马 恒



人民交通出版社

内 容 提 要

本书是京杭运河常州市区段改线工程建设丛书的第四册,全书共9章,系统分析和总结了平陵大桥、天宁大桥、新龙大桥、青洋大桥、东方大桥、常金大桥、钟楼大桥、龙城大桥等桥梁施工的关键技术及特点。

本书为丰富城市桥梁建设理念提供了成功范例,对促进城市桥梁建设发展与技术进步具有重要意义,可供桥梁工程技术人员和道路桥梁专业师生参考借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

京杭运河常州市区段改线工程建设丛书.第四册,
桥梁施工关键技术/马恒主编;常州市京杭运河和312国
道南移改建工程建设指挥部办公室,江苏省常州市航道管
理处编. —北京:人民交通出版社,2010.12

ISBN 978-7-114-08803-2

I ①京… II. ①马… ②常… ③江… III. ①大运河
—航道工程—工程施工—常州市 ②大运河—桥梁工程—工
程施工—常州市 IV. ①U621.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第241945号

京杭运河常州市区段改线工程建设丛书(第四册)

书 名:桥梁施工关键技术

著 者:常州市京杭运河和312国道南移改建工程建设指挥部办公室
江 苏 省 常 州 市 航 道 管 理 处 编

本册主编:马 恒

责任编辑:张征宇 赵瑞琴

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:17

插 页:1

字 数:480千

版 次:2010年12月 第1版

印 次:2010年12月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-08803-2

总 定 价:380.00元(共六册)

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

《京杭运河常州市区段改线工程建设丛书》

- | | | |
|-----|------------|------------|
| 第一册 | 《综合管理》 | 主编:刘文荣 |
| 第二册 | 《设计·科研·检测》 | 主编:虞国俊 薛平权 |
| 第三册 | 《航道工程》 | 主编:季小明 袁劲华 |
| 第四册 | 《桥梁施工关键技术》 | 主编:马 恒 |
| 第五册 | 《环境·景观》 | 主编:朱红亮 杨如海 |
| 第六册 | 《论文专集》 | 主编:朱红亮 |

《京杭运河常州市区段改线工程建设丛书》

编 委 会

主任委员：常 青

委 员：范立础 邵容光 徐 岳 高征铨 吴 冲
吉 林 杨志方 杨 健 刘文荣 陆 平
马 恒 虞国俊 朱红亮

主 编：刘文荣 马 恒

副 主 编：徐 岳 朱红亮 季小明

编 委：（以姓氏笔画为序）

王 辉	王立新	王仙美	王 强	王建秋	王飞球
计 梁	尹庆民	白仲官	冯正明	石雪飞	石亚玲
刘九生	孙 波	孙大松	壮秋成	许其云	许长新
任自放	朱晓宁	苏庆田	何卫平	李 军	李 娜
李建良	邵联银	杨如海	杨洪生	杨文荣	杨 扬
杨春生	杨秋浩	杨建善	杨广霖	张铁新	张文立
张 明	张宇峰	张 林	吴 宏	吴克良	吴建东
吴曙光	吴 冲	陈明强	陈红仙	陈万春	陈 莹
陈复奎	陈鸿鸣	陈 伟	陈 华	邹存俊	周 洪
郑小燕	单国伟	赵旭东	赵 谦	赵 翔	饶志刚
胡玉乾	胡秀娟	郝峻峰	钱德明	袁劲华	徐贤明
徐 忱	徐宁倩	徐金法	贾留峰	曹跃忠	曹树强
黄永铭	黄士柏	章世祥	梅立国	梁 鹏	梁晓飞
焦振寿	蒋 伟	蒋锁平	温天宇	傅大放	鲁剑煜
谢怡媛	韩明祥	蔡仁良	潘锁方	薛平权	霍 超
谯兰志					



常州作为一座有 2500 多年文字记载历史的江南古城,自古以来就有“三吴襟带之邦、百越舟车之会”之称,公路四通八达,水网纵横交错,京杭运河作为水运黄金通道,水运功能十分明显。同时运河作为常州人民的“母亲河”,孕育了一代又一代的常州子民,也促成了常州城市依河而建、以水而兴的独特格局,和常州这座城市的发展息息相关、唇齿相依。

随着常州“两个率先”和“富民强市”战略进程的不断加快,经济社会发展对航运的需求越来越高。千年古运河虽在 20 世纪 90 年代经过一次全面整治,但是由于等级偏低,已不适应货运量迅猛增长和船舶大型化趋势,船舶堵航事件经常发生,严重影响了煤炭、建材等事关国计民生重要物资的运输畅通;另外,随着现代化城市建设进程的加快,亟需对运河进行南移改线,以拉开“一体两翼”现代化城市的发展框架。京杭运河拥堵情况,引起了党中央、国务院领导的高度重视。2004 年 1 月,黄菊副总理在长江三角洲交通发展座谈会上作出要“加快高等级内河航道网建设,提高内河航道网等级,形成江、浙、沪畅通衔接的航道网”的重要指示。在国家高度重视水运事业发展的背景下,市委、市政府作出运河改线的重大决策,交通部门做了大量艰苦的前期工作,得到了交通部、省交通厅的关心支持,运河改线工程成功列入国家和江苏省交通“十一五”发展规划,并提前于 2004 年底开工建设。

运河改线工程全长 26 公里,自西向东穿越常州 4 个区、10 个街道(乡镇),按三级航道标准建设,建设总投资接近 30 亿元。该项目不仅是京杭运河苏南段“四改三”工程的先导项目,也是常州交通建设史上单项投资最大的项目,并且与 312 国道改线工程同步建设,交通与水利统筹兼顾,在常州的建成区内实施,施工组织、资金筹集、征地拆迁、交通管制的任务十分之大,工程建设的难度前所未有。自工程建设以来,国家有关部委和省委、省政府以及省交通部门的领导多次亲临建设工地视察指导,对工程建设予以了充分肯定,并要求建设者高标准、严要求,将运河工程建设成为全国内河航道示范工程。对照这一要求,全体建设者长期奋战在工程建设一线,风餐雨露、披星戴月,全面加快工程建设进度,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,没有发生一起违法违纪事件,并且较原定计划提前一年建成通航,创下常州交通建设史上的新纪录。

京杭运河常州市区段改建工程建设进展如此顺利,工程质量如此之优,安全生产和廉政自律如此之好,经验值得全面总结,运河改线工程有其三个方面的显著特点:首先,是建设标准高。在工程建设伊始,就确立了将运河改线段建设成为全国

内河水运示范工程的目标。在高标准建设 26 公里的航道驳岸和 11 座大跨径桥梁的同时,规划建设全省领先的综合性船民服务区、航道监控与搜救中心以及两个年吞吐量达 1200 万吨的东、西港区,充分体现了现代化航道建设的水平;突出生态、环保、景观概念,对运河与 312 国道改线段的绿化工程进行整体设计,将 17 公里的运河和 312 国道共线段建设成为“一河、一路、三林带”的绿色交通走廊,体现“路、河、桥、林”相协调、工程建设与城市发展相统一,营造出新的城市“绿肺”,成为环境友好型交通的典范之作。其次,是综合效益好。针对江南地区寸土寸金的情况,建设单位通过创新理念,将运河开挖土方用于公路及其他社会项目建设,节约土地 1.4 万亩、资金 10 亿元,此举被专家誉为“常州模式”,并在全省予以推广。运河南移与太湖流域防洪工程—武宜运河共线实施 8 公里,又节约土地 800 多亩,取得了良好的经济效益。此外,运河工程的实施,不仅大大提升了水运主通道的通行能力,而且有利于区域性交通枢纽的加快建设,有利于拓展城市发展空间,有利于改善新老运河沿线环境,有利于加强古运河遗产保护和开发,有利于促进产业积聚和区域经济发展,综合效益十分明显。第三,是技术含量高。11 座运河桥梁型式多样、结构新颖,采用了 8 种主流桥型,有的属国内首创首用,全面体现了全国内河航道示范工程的科技创新与科技进步。采用钢筋混凝土挡墙、浆砌块石和花岗岩砌筑等多种型式的直立式驳岸,解决了航道驳岸工程地质条件复杂、地基处理难度大的技术问题。新技术、新工艺在运河改线工程中的广泛应用,有力地提升了工程建设质量水平。据统计,工程在结构创新、材料创新、工艺创新达 68 项之多,其中不少科研成果达到国内领先或先进水平,甚至达到国际先进水平,成为一项名副其实的创新工程、科技工程。2008 年 7 月,工程被交通部评为资源节约型、环境友好型国家级水运示范工程。其后,工程又获得交通运输部优秀设计二等奖、“水运工程质量奖”,江苏省“扬子杯”,中国土木工程“詹天佑奖”,2010 年荣获得“国家优质工程奖”,同时被中国水运建设行业协会推荐申报“百年百项杰出土木工程”。

当前,正值我市加快建设综合运输体系,加快水运事业发展的关键时期。干线航道三级整治工程、录安洲港区开发即将全面掀起建设高潮,对运河改线段建设管理经验进行全面总结,将极大地丰富我市水运建设管理理论和实践内涵,为水运事业的发展提供成功的借鉴。运河改线工程管理经验作为一笔宝贵财富,对其进行大力宣传、广泛推广,必将促进我市交通基础设施基建项目管理水平的进一步提高,为交通服务常州率先基本实现现代化,发挥先导作用作出新的更大的贡献!

范燕青

二〇一〇年十二月



京杭运河常州市区段改线工程为列入交通运输部“十一五”发展计划,由部、省、市联合投资的重点水运基础设施建设项目,是交通运输部内河水运建设示范工程,2004年10月开工,2008年1月完工,历时3年4个月。改线工程新(改)建的11座桥梁,紧紧围绕常州市特大型城市发展规划,充分考虑桥梁建筑与周边环境的协调,利用梁、拱、缆等承力构件的有机组合,创造出刚柔并济、富于变化的桥型,既展现了常州历史文化底蕴和时代风貌,又可愉悦船员心理,有效保障运河航行安全。

改线工程11座桥梁建设过程中力主创新,应用了诸多的新结构、新材料、新技术和新工艺,是本次工程建设中技术难度最大、科技含量最高的部分。各参建单位积极开展科技攻关,充分依靠科技进步解决施工技术难题,为加快建设速度,确保工程质量,实现创建“优质工程”目标,丰富城市桥梁建设理念提供了成功范例。系统总结改线工程桥梁施工关键技术,对促进城市桥梁建设发展与技术进步具有重要的意义。

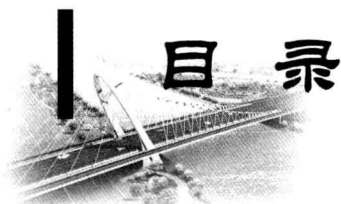
《桥梁施工关键技术》是京杭运河常州市区段改线工程建设丛书的第四册,本书针对11座桥梁施工的关键技术及难点进行分析总结,对相似桥梁及施工工艺进行了归并处理,对常规的施工工艺,如桩基础、墩台及引桥施工等方面的内容未予涉及。全书共九章。第一章以改线工程桥梁结构体系类型为主线,在总结回顾相应施工方法的基础上,简要介绍实桥工程的相关背景资料。第二章以平陵大桥为依托介绍钢—混凝土组合梁桥施工关键技术,包括钢箱梁的制作与安装、剪力钉施工技术以及超长预应力束张拉技术。第三章以天宁大桥为例,介绍预应力混凝土连续梁桥大节段支架现浇施工关键技术,包括高强度等级硫磺砂浆研制、超缓凝C60混凝土配合比设计及大节段支架现浇施工技术。第四章依托新龙大桥建设,对钢桁架拱的制作、安装及质量控制技术进行总结。第五章立足青洋大桥,介绍桁架钢管拱梁组合桥梁施工关键技术,包括脊背梁拱组合箱梁施工技术、门式多边形拱脚、倒三角桁架拱肋以及八字形斜吊杆等施工技术。第六章介绍了带飞燕中承式提篮拱桥——东方大桥施工关键技术,包括拱座施工、飞燕施工、拱肋竖转、拱肋混凝土压注以及系杆和吊杆张拉等技术。第七章介绍了无背索斜拉桥——常金大桥施工关键技术,包括钢箱梁及主塔安装、无背索斜拉索张拉技术。第八章介绍了斜拉桥——钟楼大桥施工关键技术,包括承台大体积混凝土温控技术、主塔爬模施工技术、斜拉索张拉

技术。第九章以龙城大桥为依托,介绍自锚式悬索—斜拉组合结构体系桥梁的施工技术特点及方法,主要包括钢箱梁制作与安装、拱形主塔竖转技术、缆索体系制作与架设技术以及缆索体系张拉技术。

本书由京杭运河常州市区段改线工程指挥部办公室主持,施工、监控及科研单位共同参与,长安大学执行编写。第一章由邹存俊编写,第二章由梁晓飞、杨志军编写,第三章由梁晓飞、谷振编写,第四章由梁鹏、许智编写,第五、六章由李磊磊、苗建宝编写,第七、八章由杜红静、邹正浩编写,第九章由邹存俊、董峰辉编写。全书由长安大学徐岳教授统稿。

限于编写时间及编写水平,疏漏与不当之处在所难免,恳请同行指正。

编 者
2010 年 11 月



第一章 桥梁型式及特点	1
第一节 概述	1
第二节 连续梁桥	1
第三节 拱桥	4
第四节 斜拉桥	6
第五节 自锚式悬索—斜拉组合结构体系桥梁	7
第二章 平陵大桥施工关键技术	9
第一节 概述	9
第二节 钢梁制作与安装	10
第三节 剪力钉施工	27
第四节 超长预应力束张拉技术	29
第三章 天宁大桥施工关键技术	35
第一节 概述	35
第二节 高强度等级硫磺砂浆研制	37
第三节 超缓凝 C60 混凝土配合比设计	39
第四节 大节段支架现浇施工	42
第四章 新龙大桥	61
第一节 概述	61
第二节 主桥钢结构制作	62
第三节 主桥钢结构安装	73
第四节 施工质量控制	85
第五章 青洋大桥施工关键技术	87
第一节 概述	87
第二节 脊背梁拱组合箱梁施工技术	88
第三节 门式多边形拱脚施工技术	93
第四节 倒三角形桁架拱肋施工技术	97
第五节 八字形斜吊杆施工技术	111
第六章 东方大桥施工关键技术	116
第一节 概述	116
第二节 拱座施工技术	118
第三节 飞燕施工技术	120

第四节	拱肋竖转施工技术·····	123
第五节	拱肋混凝土压注施工技术·····	133
第六节	系杆张拉施工技术·····	137
第七节	吊杆张拉施工技术·····	139
第七章	常金大桥施工关键技术·····	147
第一节	概述·····	147
第二节	钢箱梁施工技术·····	149
第三节	主塔施工技术·····	162
第四节	无背索张拉技术·····	182
第八章	钟楼大桥施工关键技术·····	187
第一节	概述·····	187
第二节	承台大体积混凝土温控技术·····	188
第三节	液压爬模施工技术·····	192
第四节	斜拉索施工技术·····	204
第九章	龙城大桥施工关键技术·····	210
第一节	概述·····	210
第二节	钢梁的制作和运输·····	211
第三节	竖转施工·····	223
第四节	缆索体系制作与架设技术·····	246
第五节	缆索体系张拉技术·····	255

第一章 桥梁型式及特点

第一节 概 述

京杭运河常州市区段改线工程西起京杭运河德胜河口连江上塘村,经 312 国道、小徐家村、下乘桥、雕庄村,东至戚电厂对岸德横塔村入老运河,改线总里程为 26.086km,永久性建筑按三级航道(口宽 90m)标准建设。在京杭运河常州市区段改线工程建设中,充分考虑桥梁景观与周边环境相协调,注重应用新结构、新技术、新材料及新工艺。改线工程新建桥梁结构体系类型见表 1.1。

桥梁型式及技术参数

表 1.1

结构体系类型	桥 名	主桥结构型式	跨径组合(m)
连续梁桥	平陵大桥	钢—混凝土组合梁结构	71 + 110 + 71
	湖滨大桥	预应力混凝土结构	70 + 110 + 70
	武进大桥	预应力混凝土结构	72 + 110 + 72
	天宁大桥	预应力混凝土结构	70 + 120 + 74
拱桥	新龙大桥	中承式钢桁架拱结构	30 + 100 + 30
	青洋大桥	连续梁—拱组合结构	50 + 120 + 50
	阳湖大桥	单拱肋拱梁组合结构	35 + 108 + 35
	东方大桥	中承式提篮拱梁组合结构	35 + 120 + 35
斜拉桥	常金大桥	双索面无背索斜拉结构	60 + 120 + 30
	钟楼大桥	双索面独塔斜拉结构	30 + 46 + 108
新型组合结构体系桥梁	龙城大桥	自锚式悬索—斜拉组合结构	72 + 114 + 30

由表 1.1 可以看出,改线工程共新建平陵大桥、新龙大桥、常金大桥及龙城大桥等 11 座跨运河桥梁,结构体系涵盖连续梁桥、拱桥、斜拉桥等常规桥型及新型组合桥梁体系,主桥结构型式涉及钢—混凝土组合梁结构、预应力混凝土结构、中承式钢桁架拱结构、连续梁—拱组合结构、单拱肋拱梁组合结构、中承式提篮拱梁组合结构、双索面无背索斜拉结构、双索面独塔斜拉结构及自锚式悬索—斜拉组合结构。为确保通航净空,11 座大桥均采用一跨过河,水中不设桥墩,主跨 110m 左右。

改线工程新建桥梁丰富的结构型式,多样的结构体系类型,为桥梁施工关键技术创新提供了宝贵的平台。本章以下各节将以改线工程桥梁结构体系类型为主线,在总结回顾相应施工方法的基础上,简要介绍实桥工程的相关背景资料。

第二节 连续梁桥

连续梁桥具有外形简洁、线形流畅、行车舒适等特点,适用于桥梁与航道正交或接近正交的情况。常州市京杭运河改线工程连续梁桥主要包括变截面预应力连续梁桥和钢—混凝土组合梁桥两种结构类型,其中湖滨大桥、武进大桥和天宁大桥采用变截面预应力混凝土连续梁桥,平陵大桥采用钢—混凝土组合梁桥。

一、连续梁桥施工方法

我国建造预应力混凝土连续梁桥的施工方法很多。常用的施工方法有:支架浇筑施工、悬臂施工、逐孔施工和顶推施工。其中悬臂施工通常分为悬臂浇筑和悬臂拼装,而悬臂浇筑按施工受力图式又有挂篮悬臂浇筑和桁架吊悬臂浇筑之分;逐孔施工通常分为预制梁逐孔安装、支架组拼预制节段逐孔施工和支架现浇施工。另外,根据施工现场情况以及工期要求,大节段现浇施工方法有时候也被采用。

1. 满堂支架浇筑施工

满堂支架浇筑施工是指在支架上安装模板、绑扎、安装钢筋骨架、预留孔道,现场浇筑混凝土,并施加预应力的方法。预应力混凝土连续梁采用就地满堂支架浇筑施工,需要在连续梁桥的一联各跨均设支架,一联施工完成后,整联卸落支架。

满堂支架就地浇筑施工适用于旱地且跨径不太大的桥梁,施工中支架的安全、变形等是必须引起重视的问题。

2. 悬臂施工

悬臂施工法也称分段施工法,是以桥墩为中心向两边对称、逐节悬臂接长的施工方法,常用施工方法有悬臂拼装法和悬臂浇筑法。

(1) 悬臂拼装法

悬臂拼装法是在预制场预制节段梁,利用移动式悬吊机将梁段起吊至桥位,然后采用环氧树脂胶及钢丝束预施应力连接成整体。采用逐段拼装,一个节段张拉锚固后,再拼装下一节段。

拼装方法主要有扒杆吊装法、缆索吊装法以及提升法等,施工过程包括梁段预制、运输、拼装及合龙。

(2) 悬臂浇筑法

挂篮悬臂浇筑是在桥墩两侧对称逐段浇筑混凝土、张拉预应力筋、移动挂篮、立模绑扎钢筋等循环连续施工,直至合龙形成连续梁桥。

按施工工序不同,悬臂浇筑施工分为逐跨连续悬臂施工、T 构—单悬臂—连续施工、T 构—双悬臂—连续梁施工三种施工程序。对于多跨连续梁桥,可选择其中一种,也可兼顾各施工程序优点综合选用。

挂篮悬臂浇筑施工不需大量施工支架和大型临时设备,对场地限制少,不受季节洪水影响,不受桥跨孔数限制,桥梁施工受力状态与运营受力状态基本相近,但悬臂施工体系转换较多,施工线形及合龙技术要求较高。

3. 支架逐孔现浇施工

逐孔现浇施工需在一孔布设支架,在张拉完预应力筋后移到下一跨逐孔施工,因此采用逐孔现浇施工时,随着施工的进行,结构存在体系转换,与支架整体现浇施工不同。

逐孔现浇施工需要一定数量的支架,但比满堂支架现浇施工所需的支架数量要少得多,而且周转次数多,利用效率高,施工速度比满堂支架现浇快。该施工方法适用于中等跨径以及结构构造比较简单的等高度连续梁桥。

4. 大节段支架现浇施工

大节段支架现浇施工是在桥墩两侧对称逐段搭设支架现浇混凝土,张拉预应力,移动支架,立模绑扎钢筋等循环连续施工,直至合龙形成连续梁桥。该工艺有效地结合了满堂支架和节段悬浇施工的优点,具有施工工期短,安全性高,施工费用少等优势。但由于要进行支架搭设,故对施工场地及地基承载力要求较高。

二、天宁大桥

1. 工程概况

京杭运河常州市区段改线工程 JHCZQ-10 合同段(天宁大桥)位于常州市东侧,桥梁与航道交叉桩号 K24+004.85,桥梁与航道成 63.2° 交角(航道前进方向右偏角),主桥位于直线段,部分引桥位于 $R=1999.5\text{m}$ 的曲线上,曲线上桥梁不设超高。桥梁最高通航水位 3.4m (85 黄海高程),斜桥正做。

主桥采用 $70\text{m}+120\text{m}+74\text{m}$ 三跨预应力混凝土连续箱梁,主孔跨径 120m ,一跨跨越运河,边孔 70m 和 74m 跨越运河河畔规划河滨道路。桥面坡度:纵坡 3.5% ,横坡 2.0% 。荷载标准为公路—I 级,通航净空为 $70.0\text{m}\times 7.0\text{m}$,工程区域地震峰值加速度 $0.1g$,相当于地震基本烈度 VII 度。

桥梁横断面按上下行分离式两幅桥设计,间距 1m 。

2. 施工方法

根据京杭运河常州区段改线工程的总体规划及施工环境,天宁大桥建设具有以下特点:

(1) 施工工期紧

京杭运河常州市区段改线工程采用先建桥后挖河的施工工序,桥梁的建成时间将是制约航道工程进度的关键因素,桥梁竣工时间越早,运河开挖时间也就越早,改线工程的工期也就能够得到保证。因此,对于桥梁工程的施工工期要求特别严格。

(2) 交通量大

天宁大桥走向与旧 312 国道重合。旧 312 国道为常州市区道路,交通流量大,大桥施工过程中需要封闭交通,将对整个城市交通产生一定影响,因此,要求大桥施工封闭交通时间必须尽量缩短。

(3) 地基条件好

天宁大桥桥底开挖河道为旧 312 国道,地基条件好,适合采用支架施工。

综合分析连续梁桥各个施工方法特点,结合现场面临的实际情况,确定天宁大桥采用大节段支架现浇施工法。武进大桥的情况与天宁大桥类似,故也采用大节段现浇施工,相应的关键技术比较突出,将是后续相关章节介绍的重点。湖滨大桥由于跨越大通河,不具备支架浇筑条件,采用挂篮悬臂浇筑施工,技术特点一般,相关介绍从略。

三、平陵大桥

1. 工程概况

312 国道平陵大桥主桥采用主跨 110m 、边跨 71m 的三跨变截面连续钢—混组合梁,一孔跨越京杭运河。左右分幅,主桥桥梁宽度 33.5m 。箱梁跨中高度为 2.6m ,墩顶高 5.2m ,梁高按二次抛物线变化。大桥两侧纵坡均采用 3.5% ,竖曲线半径 3000m 。

钢梁为变高度 U 形断面,采用双箱单室,单个钢箱宽 4.25m ,箱间净间距 4.24m ,桥面设 2% 的单向横坡,通过内外侧腹板高度来调整,箱梁底板在横桥向保持水平。平陵大桥首次在国内百米连续梁桥中采用“开口连续钢箱与预应力连续混凝土桥面板”结合的独特结构。

大桥在负弯矩区混凝土桥面板施加预应力,为保证预应力能有效地传递给钢梁,采用剪力钉群方案解决钢梁和混凝土桥面板共同作用问题。剪力钉采用 $\phi 22$ 圆头焊钉,长 220mm 。每个剪力钉群用 20 根焊钉按 4 行 5 列排列,受力方向上间距为 110mm ,横方向上间距为 80mm 。

2. 施工方法

现场施工区域场地较平,在桥西侧约 100m 处有一处池塘,另一处为施家浜河道。在桥西主桥起点处有一处便道,宽 5m 左右,可以行车。现场施工干扰小,场地开阔,适宜采用支架拼装钢梁、钢梁上现浇桥面板、钢—混滑移状态施加桥面板预应力,然后通过剪力钉群连接预应力混凝土桥面板与钢梁的施工方式。

搭设支架需预先对地基进行处理,确保地基承载力满足施工要求。对支架必须认真进行设计验算,确保支架具有足够的强度、刚度和稳定性。设计和搭设支架时,要考虑设置可靠的落梁设施、设置预拱度等,同时要对支架进行预压。通过预压不但可以消除支架的塑性变形,还可以通过预压过程来测量支架的弹性变形,进而调整预拱度设置,使连续梁具有较好的成桥线形。

第三节 拱 桥

拱式体系是一种古老的结构型式,拱以承受压力为主,对基础有水平推力。拱桥体系变化较多,立面有上承式、中承式、下承式,横断面有平行肋拱、提篮拱。拱肋材料可以采用混凝土、钢管混凝土及钢桁架等。拱肋截面形式也有较多变化,如矩形、圆形及哑铃形等。

京杭运河常州市区段改线工程桥梁受通航净空等方面的限制,选用中承式和下承式拱桥。具体为:新龙大桥为中承式钢桁架拱桥,青洋大桥为下承式连续梁—拱组合体系,阳湖大桥为下承式单拱肋拱梁组合体系,东方大桥为中承式提篮拱梁组合体系。改线工程拱桥结构型式各异、构思独特,充分体现了桥梁与周边环境的协调统一,但同时也使得施工工序繁琐化,节点处理复杂化,对施工技术提出了新的挑战。

一、拱桥施工方法

拱桥不仅可以充分发挥材料抗压性能,而且能够表现出优美的外观造型。历史上由于施工工艺问题,拱桥的发展曾一度受到影响。随着施工技术水平的提高,拱桥又焕发出新的青春。拱桥结构型式很多,相应的施工(架设)方法也不尽相同。拱桥施工方法可以分为支架施工和无支架施工两大类。

1. 支架施工

拱桥支架施工与梁桥支架施工类似,大多应用于混凝土拱桥,也可用于大跨度钢筋混凝土拱桥或钢桁架拱桥。拱桥施工工序主要有材料准备、拱圈放样、拱架制作和安装,拱圈及拱上结构砌筑及桥面系施工等。

拱架是支架施工建造拱桥必不可少的临时辅助结构,用以支承全部或部分拱圈和拱上建筑的重量,并保证拱圈线形符合设计要求。因此,拱架必须具有足够的强度、刚度和稳定性。常用的拱架包括:满布立柱式支架、撑架式拱架、三铰桁架式木拱架、钢拱架、可移动式钢拱架等。另外拱架的卸落程序必须进行充分地论证分析。

2. 无支架施工

拱桥无支架施工方法发展于20世纪60年代。无支架施工方法的采用提高了拱桥的跨越能力,进而增强了拱桥的竞争力。无支架施工方法主要包括:缆索吊装施工、悬臂施工、转体施工以及劲性骨架施工等。

(1) 缆索吊装施工

缆索吊装施工是目前拱桥无支架施工的主要方法之一。施工工序大致包括:预制拱肋(箱)和拱上结构、主拱圈安装、拱上建筑施工、桥面结构施工等。

缆索吊装施工的关键在于保证基肋(指拱肋、拱箱或桁架拱片)有足够的强度和稳定性,不仅要保证单个构件运输和吊装时的强度和稳定性,更重要的是确保基肋合龙及合龙后承担荷载的强度和稳定性。

缆索吊装由于具有跨越能力大、水平和垂直运输机动灵活等优点,被广泛应用在峡谷或水深流急的河段,或要求全时程通航的河流。

(2) 悬臂施工

拱桥悬臂施工工要点是:将拱圈(肋)、立柱与纵、横梁对称地分成几段,加上临时斜拉(压)杆、上弦杆预先组成桁式框架,用拉杆或缆索锚固于台后,然后用扒杆或吊车向跨中逐段悬臂施工,最后在拱顶合龙成拱。

根据拱圈构件的制作方式,悬臂施工分为悬臂浇筑和悬臂拼装两大类。

(3) 转体施工法

转体施工的特点是将主拱圈从拱顶截面分开,把主拱圈高空作业施工改为在桥孔下面或者两岸进行,预先设置好旋转装置,待主拱圈浇筑(或拼装)成型后,将其就地旋转就位成拱。转体施工法包括竖转、平转、竖转和平转组合三种方式。

二、新龙大桥

1. 工程概况

新龙大桥主桥为三跨连续中承式钢桁架拱桥,桥跨布置为 $30.7\text{m} + 100.0\text{m} + 30.7\text{m}$,主桥两侧边跨为平弦桁梁,中跨为刚性拱柔性梁钢桁架结构。大桥充分展示了江南水乡特色,是新运河上用“钢筋铁骨”打造的一座景观桥梁。

2. 施工方法

新龙大桥为国内首座钢桁架公路拱桥,杆件类型及数量多,构件连接方式复杂。大桥现场施工场地开阔,地基条件较好,因此,采用有支架施工。大桥对杆件安装精度要求高,为便于施工操作,杆件吊装采用龙门吊。

三、青洋大桥

1. 工程概况

青洋大桥采用下承式连续梁拱组合体系,主桥跨径组合为 $50\text{m} + 120\text{m} + 50\text{m}$ 。纵梁采用预应力混凝土多边形组合箱梁(脊骨结构),箱梁横向表现为四室结构,两侧设置大悬臂翼板;拱肋采用单榀钢管混凝土桁架结构,拱肋横断面为三角形桁架结构,拱轴线采用二次抛物线;拱脚采用分叉门式结构,行人从拱脚中间通过。

2. 施工方法

由于京杭运河常州市区段改线工程采用先建桥后挖河的施工顺序,现场施工场地开阔,因此,主桥施工采用先梁后拱、一次落架的施工方法,为一次受力结构。主梁采用满堂支架就地浇筑施工,拱肋采用有支架节段拼装施工。

四、东方大桥

1. 工程概况

东方大桥为带飞燕的中承式提篮拱梁组合结构体系,主桥跨径组合为 $30\text{m} + 120\text{m} + 30\text{m}$ 。主梁采用肋板式双边箱构造,纵桥向以吊杆及支撑间距设置横隔梁;主拱圈采用钢管混凝土结构,拱轴线线形采用二次抛物线,拱脚纵向水平距离为 120m ,矢高为 32m ,矢跨比为 $1:3.75$;边跨设门式飞燕,跨度 30m ,矢高 7.2684m ,飞燕内倾角 18° ,采用二次抛物线线形。

2. 施工方法

根据施工场地情况,东方大桥主梁及飞燕施工采用与青洋大桥相似的施工方法,即满堂支架施工。考虑到工期安排,为缩短施工时间,提高施工效率,拱肋安装采用大节段拼装、边侧拱肋竖向转体、合龙段整体安装的方法。

第四节 斜 拉 桥

斜拉桥外形简洁,高耸挺拔,充分体现现代气息,主梁建筑高度低,但综合造价略高,一般适用于大跨径、宽桥面的桥梁。针对改线工程的特点,在有景观需求的桥位选用了斜拉桥方案。斜拉桥的主塔与索型布置一般有独塔单索面、独塔双索面、斜独塔双索面、矮塔双索面及独塔无背索等。

常州市京杭运河改线工程斜拉桥主要包括独塔双索面无背索斜拉桥和独塔双索面斜拉桥。

一、斜拉桥施工方法

斜拉桥施工包括墩塔施工、主梁施工、斜拉索制作与安装三大部分。

斜拉桥主梁施工一般采用支架法、顶推法、转体法、悬臂浇筑和悬臂拼装(自架设)法等。实际工程中,混凝土斜拉桥以悬臂浇注施工居多,而对结合梁斜拉桥和钢斜拉桥则采用悬臂拼装法。当施工环境条件许可时,主梁施工采用支架法、顶推法或转体法也不失为一种明智的选择。

悬臂浇筑法是在索塔两侧用挂篮对称逐段浇筑主梁混凝土至合龙。在施工中,索塔两侧的梁体因自重等荷载不可能绝对平衡,从而将产生一定的倾覆力矩;同时,两侧斜拉索张拉力也不一定对称,从而将产生一定的水平推力,所以,当所施工的桥梁为漂浮体系、半漂浮体系时,一般需作塔(墩)临时固结处理。

斜拉桥与一般梁桥相比,主梁较柔,抗弯能力差,当采用传统挂篮悬浇施工时,由于挂篮自重太大,梁塔和拉索设计由施工内力控制,极不经济,所以,施工应尽量利用斜拉桥结构特点,充分发挥斜拉索的作用,以减轻施工设备重量。目前使用较多的是前支点挂篮,也称斜索式挂篮。前支点挂篮是将挂篮后端锚固在已浇梁段上,并将待浇段的斜拉索锚在挂篮前端,由斜拉索和已浇梁段来共同承担待浇节段的混凝土重力,相当于将传统挂篮中的悬臂受力变为简支受力。不足之处是在浇筑一个节段混凝土过程中要分阶段调索,工艺复杂。

由于斜拉桥结构较复杂,超静定次数高,索塔空间位置、斜拉索位置、锚头相对尺寸等务必准确,否则将引起结构内力的变化。为确保结构安全和成桥线形平顺,施工中必须进行主梁标高、斜拉索索力和索塔变位观测,并充分考虑混凝土收缩、徐变及温度变化等引起的标高变化。同时应严格控制合龙时间并采取必要的技术措施,保证合龙质量和成桥状态符合设计要求。

悬臂拼装法是采用适宜的起吊设备从塔柱两侧逐节段对称拼装梁体直至合龙。与悬臂浇筑一样,施工中对非塔、梁、墩固结的斜拉桥也要作临时固结处理。

对于混凝土主梁悬臂拼装,要特别注意块件和相邻已成梁段的相对高差控制,确保主梁线形与设计相符。

对于钢梁悬臂拼装,需要特别注意合龙段施工。合龙段施工若处理不好,轻则影响结构内力分配以及桥面平顺,重则影响结构安全。

二、常金大桥

1. 工程概况

常金大桥主桥为 60m + 120m + 30m 独塔双索面无背索斜拉桥,塔、梁、墩固结,斜拉桥主塔设于 312 国道侧,主跨 120m,一孔跨越运河,西侧边跨 60m,一孔跨越 312 国道,东侧边跨 30m,一孔跨越规划运北路。主梁采用钢箱梁,主塔为两个八边形截面的薄壁空心钢结构,塔内灌注 C30 微膨胀混凝土作为配重以平衡主梁自重、二期恒载和车辆荷载效应。斜拉索采用环氧涂层无粘结钢绞线 HDPE 护套拉索及 OVM250 系列锚具。