

中承式钢管混凝土系杆拱桥

—京杭运河特大桥设计与施工



Middle Load Concrete-filled Steel Tube Tie Bar Arch Bridge
—Design and Construction of Jing-hang Canal Bridge

倪顺龙 郭光松 主编
梁智涛 刘士林 主审



人民交通出版社

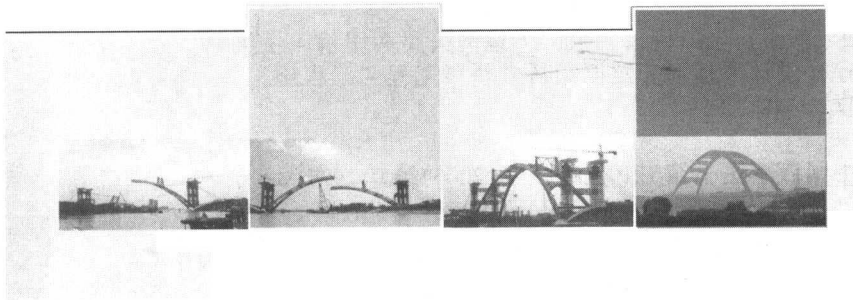
China Communications Press

U448.14

11

中承式钢管混凝土系杆拱桥

—京杭运河特大桥设计与施工



倪顺龙 郭光松
梁智涛 刘士林

主编
主审



人民交通出版社

China Communications Press

内 容 提 要

本书作者亲历了京杭运河特大桥的设计建设全过程,此书为该桥设计及施工技术问题的总结。包括六部分:一为京杭运河特大桥的设计;二为结构分析计算;三为施工安装方案;四为关键技术介绍;五为监测、监控与检测;六为科研与试验。

全书专业性、针对性强,为今后同类桥梁建设提供良好的借鉴参考。

本书可供路桥工程设计、施工专业技术人员参考,亦可供学校师生学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

京杭运河特大桥设计与施工/倪顺龙等编著. —北京:
人民交通出版社,2006.2
ISBN 7-114-05940-X

I.京... II.倪... III.①运河公路两用桥-桥梁
工程-设计②运河公路两用桥-桥梁工程-工程施工
IV.U448.12

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第011477号

书 名:中承式钢管混凝土系杆拱桥——京杭运河特大桥设计与施工

著 者:倪顺龙 郭光松

责任编辑:师 云

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)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:北京凯通印刷厂

开 本:787×960 1/16

印 张:21.75

字 数:360千

版 次:2006年3月第1版

印 次:2006年3月第1次印刷

书 号:ISBN 7-114-05940-X

定 价:43.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前言

PREFACE

连云港—徐州高速公路是连云港—霍尔果斯国道主干线的东龙头段，位于江苏省北部地区，东起连云港市，西至徐州市南隅，是国家规划建设“五纵七横”国道主干线的重要组成部分。京杭运河特大桥是连云港—徐州高速公路上的一座标志性特大型桥梁，位于邳州市南侧，桥梁全长 2577 米。连云港—徐州高速公路京杭运河特大桥于 1994 年开始初步设计工作，今过反复的设计方案论证，最终确定为自平衡钢管混凝土“提篮式”拱桥，大桥于 1999 年 8 月开工，2002 年 10 月竣工通车。

大跨度柔性系杆的自平衡钢管混凝土拱桥在最近十年来得到长足发展，同行专家攻克了很多技术难题，京杭运河大桥在借鉴国内同类桥型的基础上，采用“提篮式”结构，为丰富自平衡钢管混凝土桥梁结构赋予了新的内容。

大桥从设计到竣工的整个建设过程，是一个技术创新、解决难题的过程。在桥梁设计施工过程中，建设、设计、施工和监理一桥四方单位领导对该桥的建设给予了充分重视，参加建设的技术人员付出了艰辛的劳动，同时也得到了相关专业合作单位的大力协作和国内部分桥梁专家的大力支持。

编者有幸亲历大桥设计建设的全过程，在大桥竣工后，一直想对本桥的技术问题进行总结，在院领导的支持下，相关技术人员利用工作之余完成了本书的编写。旨在通过京杭运河特大桥设计施工中的关键技术进行总结和探讨，积累建设经验，为今后建设类似桥梁提供参考和借鉴。

本书共分六章：第一章为京杭运河特大桥的设计，主要介绍本桥设计方面桥型布设和主要构造问题；第二章为结构分析，介绍本桥设计方面的主要

计算内容;第三章为主拱肋安装施工方案,介绍该桥型主拱肋的主要施工方法及竖转施工的计算;第四章为关键施工技术设计,介绍该桥主要构件的设计施工方法及针对竖转施工的重要构件设计;第五章为监测、监控与检测,介绍该桥施工过程中及竣工后的检测方法、部分结果的分析和对施工的指导;第六章为科研与试验,介绍本桥针对施工技术和质量控制相关的主要技术问题。

本书第一章由倪顺龙、冯云成、王似舜、张延龙、彭志苗编写;第二章由王兴达、尚维波、汪晶、牟中军编写;第三章由张迎辉、孙虎平、郭玲编写;第四章由郭光松、卢冠楠、杨卫平、蒋德林、杨涛编写;第五章由周佳、王立权、李浩然、杨国忠、韩治中编写;第六章由赵昺、赵玮、许俊、高吉才编写。全书由倪顺龙统稿,梁智涛组织审查。汪双杰对本书的编写和出版给予了指导和关心,还得到了许宏元、张春宁、杨岳民、钟瑶、杨冬、黄法沛、谢云举、刘炜、华澄、杨海、杨鹰、吴永昌、刘香文、高璇、王亚君、孟庆君的帮助,田文民、薛文惠在本书编写过程中作了部分图文工作。本书受中交第一公路勘察设计研究院科研基金资助,同时还得到江苏省高速公路建设指挥部、徐州市高速公路建设指挥部、交通部第二公路工程局京杭运河特大桥项目部、铁道部科学研究院铁建所监控组、同济大学竖转提升组、西南交通大学以及江苏省交通厅质监站的支持,在此谨表谢意。

由于编者水平有限,加之时间仓促,难免有不足之处甚至谬误,恳请读者批评指正,并提出宝贵意见。

编者

2006. 1. 21

目录

CONTENTS

第一章 京杭运河特大桥的设计	1
第一节 设计条件	1
第二节 方案比选	6
第三节 桥型设计	10
第四节 桥梁构造设计	13
第二章 结构分析	22
第一节 静力分析	22
第二节 稳定性验算	36
第三节 变形验算	37
第四节 地震反应分析及抗震验算	38
第五节 施工阶段结构分析	47
第三章 主拱肋安装施工方案	60
第一节 钢管混凝土拱桥的施工方法	60
第二节 京杭运河特大桥施工方案的比选	69
第三节 竖向转体施工技术设计	84
第四节 竖向转体施工计算分析	88
第四章 关键施工技术设计	93
第一节 主拱肋拼装施工技术	93
第二节 边跨拱肋支架设计与施工	106

第三节	主拱肋拼装支架设计	114
第四节	门形桁架吊机设计	119
第五节	转体活动铰设计	124
第六节	临时合龙措施及合龙段设计	131
第七节	钢管混凝土泵送施工	132
第八节	系杆安装施工工艺	138
第九节	竖转施工测量控制	143
第十节	钢结构制作与加工	147
第五章	监测、监控与检测	162
第一节	监测、监控	162
第二节	仪器设备及测试系统	168
第三节	施工及营运过程中的部分监控成果	169
第四节	施工过程及成桥阶段的监测成果	174
第五节	桥梁静、动载试验	186
第六节	动载试验成果与分析	201
第七节	主要技术总结	215
第六章	科研与试验	217
第一节	现场总线技术在竖向转体实时控制系统中的应用	217
第二节	施工阶段拱轴线形监测与控制	229
第三节	超声波对钢管内混凝土密实性检测的研究	243
第四节	C50 微膨胀混凝土的研制	261
第五节	钢管混凝土模型试验	269
第六节	钢结构锌铝复合涂层防腐性能研究	274
附录一	钢管拱肋制造与验收技术规定	312
附录二	京杭运河特大桥营运养护维修对策	323
参考文献		341

第一章

京杭运河特大桥的设计

第一节 设计条件

一、概述

连云港—霍尔果斯公路横贯我国东西部,是“欧亚大陆桥”在我国境内的重要组成部分,也是国家规划建设的“五纵七横”国道主干线的重要组成部分,它与陇海、兰新铁路共同构成我国东西部陆路大通道。连云港—徐州高速公路是连云港—霍尔果斯国道主干线的东龙头段,位于江苏省北部地区,东起连云港市,西至徐州市南隅,该项目的建设对促进东西部地区贸易往来,加速苏北地区经济建设发挥着重要作用。

京杭运河特大桥是连云港—徐州高速公路上的一座特大型桥梁,位于连云港—徐州高速公路邳州市南侧,向西跨越古老的京杭大运河及彭河,穿过徐州侧的朝阳村,继而与路线相接,桥梁全长为 2577m。该桥由主、引桥组成。主桥结构体系为“提篮式”自平衡钢管混凝土中承式系杆拱桥,主桥主孔跨径为 235m,边孔跨径为 57.5m,主桥全长 350m。该桥位于纵坡为 1.6447% 及 -0.66%、半径为 25000m 的竖曲线内。由于竖曲线的影响,两拱脚高程不一致,在纵断面上为一坡拱。为了增加桥梁的整体稳定性,有利于结构的抗震,主拱肋按 1:5.71 的斜率在横断面上向桥轴中心线倾斜,而成“提篮式”拱。整个主桥位于直线段内。

引桥全长为 2227m。结构体系为部分预应力混凝土组合连续箱梁。跨

径组成为:连云港侧由两联 $5 \times 30\text{m}$, 一联 $7 \times 30\text{m}$ 和一联 $3 \times 30\text{m}$ (变宽度段) 连续箱梁组成, 长度为 600m ; 徐州侧由一联 $3 \times 30\text{m}$ (变宽度段)、三联 $7 \times 30\text{m}$, 两联 $8 \times 30\text{m}$ 和两联 $7 \times 30\text{m}$ 连续箱梁组成, 长度为 1620m 。引桥两端设有平曲线, 其中, 连云港侧位于半径 $R=5500\text{m}$ 的平曲线上; 徐州侧位于半径 $R=7000\text{m}$ 的平曲线上。京杭运河特大桥竣工照片如图 1-1。

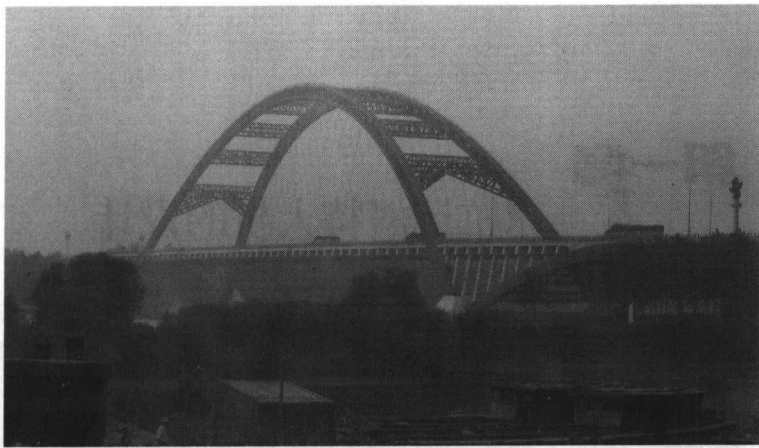


图 1-1 京杭运河特大桥竣工照片

主桥采用三跨“飞雁式”系杆“提篮”拱桥, 充分体现出现代化的勃勃生机, 也将为邳州市的城市建设增添一大景观。

二、设计采用的标准与规范

- (1)《公路工程技术标准》(JTJ 001—97)
- (2)《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021—89)
- (3)《公路砖石混凝土桥涵设计规范》(JTJ 022—85)
- (4)《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023—85)
- (5)《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ 024—85)
- (6)《公路工程抗震设计规范》(JTJ 004—89)
- (7)《钢管混凝土结构设计与施工规范》(JCJ 01—89、CECS28:90)
- (8)《公路桥涵施工技术规范》(JTJ 041—89)
- (9)《公路桥位勘测设计规范》(试行)(JTJ 062—91)
- (10)《钢结构工程施工及验收规范》(GB 50205—95)

- (11)《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)
- (12)《钢筋焊接及验收规程》(JGJ 18—96)
- (13)《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》(GB 8923—88)
- (14)《热喷涂铝及铝合金涂层实验方法》(GB 9795—88)
- (15)《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级》(GB 11345—89)
- (16)《铁路钢桥高强度螺栓连接施工规定》(TB/J 214—92)
- (17)《铁路钢桥制造规范》(TB 10212—98)
- (18)《铁路桥涵工程质量检验评定标准》(TB 10415—98)
- (19)《钢结构制造安装施工规程》(YB 9245—95)

三、技术指标

- (1)设计荷载:汽车-超 20 级,挂车-120;
- (2)桥面宽度组成:
主桥桥面宽度为:2.5m(系杆及吊杆空间)+0.5m(防撞护栏)+12.0m(行车道)+1.0m(波形梁护栏)+1.0m(隔离带)+1.0m(波形梁护栏)+12.0m(行车道)+0.5m(防撞护栏)+2.5m(系杆及吊杆空间)=33.0m。
- (3)设计水位:26.81m;
- (4)设计洪水频率:1/300;
- (5)地震烈度:地震基本烈度为 8 度;
- (6)通航水位:24.80m;
- (7)通航等级:二级;
- (8)通航净空:65×7m;
- (9)高程系统:高程采用黄海高程系统。

四、桥址自然条件概况

1. 地形、地貌

京杭运河是一条集通航、泄洪、排灌及输水综合利用的梯级河流。水上运输十分繁忙,货运船只穿梭不断,是一条“黄金水道”。它由微山湖而下,经徐州市北,然后向东南,经邳州市西侧向南流入新沂市所辖的骆马湖。洪水主要来自山东境内的邳苍洪道。河道已渠化,两大堤间的距离在桥位处为 1574.5m。

桥位位于运河镇南侧,即现今的邳州市南侧。桥位处的人工构造物较多,距东岸(即连云港方向)北侧是排灌站,南侧是一新建的柴油库,在油库

处的堤岸内侧有一个油码头。西岸 350m 左右有一条人工开挖的排洪河流——彭河，两岸均居有朝阳村村民。彭河源于邳州市西北部地区，在桥位附近与京杭运河并行南下，从房亭河底下穿过，紧靠京杭运河，最后流入骆马湖。在桥位上游 3km 处是 1973 年建成的邳县运河大桥，主桥为三孔跨径 60m 的双曲拱桥，引桥跨径为 15m 及小于 15m 的双曲拱和梁式桥组成，桥梁全长 456.29m，西岸堤内河滩地段修建有漫水路堤。在桥位上游 7km 处的奈家村西已建成一座新的运河大桥，主桥由两孔 52m 及一孔 70m 的跨径组成，结构体系为预应力混凝土连续刚构，引桥为 25m 等跨径的预应力混凝土 T 形梁结构，简支梁体系，桥面连续，桥梁宽度 16m，净宽 14m。

该桥位于废黄河冲积平原与沂河冲积平原的接触带，即沿运河洼地，它呈长条状，分布于运河两侧，走向北西、南东，洼地内地势低平，河流与人工水渠纵横交错，大堤内多芦苇沼泽，地表岩性多为亚粘土及砂土。

桥址处河水面现宽为 240m，按水利部门规划，将向西拓宽 100m。正常水深 6.5m，常年水位标高 22m。多年迳流量 $14.1\text{m}^3/\text{s}$ 。该段运河为邳州市和苏北地区水上运输繁忙的人工主干道。

2. 气象

桥位地区属暖温带半湿润季风气候区，具有大陆性气候特征，夏热多雨，冬寒干燥，春旱多风，秋旱少雨。多年平均温度 15°C 。月平均最低气温 -2°C ，月平均最高气温 28°C ，年内最高气温达 43.3°C ，最低气温为 -23.3°C ，平均一年无霜期为 200 天。

本区域为季风区，冬季盛行东北风，夏季盛行东南与西南风，年平均风速 2.8m/s ，最大风速为 23.4m/s 。

3. 水文

京杭运河属沂、沭、泗流域，流域内最大一日降雨量为 399.6mm，最大三日暴雨量为 575.8mm，最大七日暴雨量为 676.8mm。沂、沭、泗流域多年平均径流深为 232mm，年径流系数为 0.28，年径流分布与降水分布相似，南大北小，山区大于平原。该区域历史上最大洪水发生在 1730 年 8 月，当时暴雨强度大、时间长、范围广，经推算，洪峰流量重现期为 248~500 年一遇。南四湖建国后的 1957 年、1963 年、1974 年也有三次较大的洪水。京杭运河为 $3793\text{m}^3/\text{s}$ 。实测多年平均含沙量为 $1.19\text{kg}/\text{m}^3$ ，汛期含沙量为 $2\text{kg}/\text{m}^3$ 左右。由此可见，河道含沙率较高，淤积也相对严重。

在水文分析计算过程中，经调查论证，运河镇水文站有长达 41 年的系列流量资料，其年最大流量分布符合天然河流规律，服从皮尔逊 III 型曲

线,经适线分析得出京杭运河设计流量及相应的流速、水位见表 1-1 所示。

设计流量及相应的流速、水位 表 1-1

300 年一遇设计流量(m^3/s)	5760
300 年一遇设计流量相应的流速(m/s)	2.10
300 年一遇设计流量相应的水位(m)	26.81
20 年一遇设计水位(m)	24.80

河槽冲刷计算成果见表 1-2。

河槽冲刷计算成果 表 1-2

河槽划分	左滩	主槽	右滩
一般冲刷深度(m)	0.24	2.47	1.51
局部冲刷深度(m)	0.78	2.14	1.09

京杭运河在桥位处已按 20 年一遇防洪标准整治,设计排洪量为 $5500\text{m}^3/\text{s}$,二期工程将以 50 年一遇 $7000\text{m}^3/\text{s}$ 防洪标准规划实施,河槽向西拓宽浚深。

京杭运河主桥墩局部冲刷深度为 2.14m,局部冲刷线标高为 11.79m。

4. 工程地质与地震

京杭运河位于黄淮冲积平原,地貌单元属沿运河洼地。洼地内地势开阔平坦,河流与人工水渠纵横交错,地表岩性为亚粘土和亚砂土。

桥位区地层属华北地区层,前第三纪为上元古界—古生界碳酸盐岩—碎屑岩系及加里东期侵入岩体,新生界第三、四纪地层较为发育。京杭运河桥址处于地质构造相对稳定的地块,无深大断裂通过,附近发育的三条死断层和一条活断层,对桥梁建筑无影响,该区域属 8 度地震区。初勘时于桥位 K154+100 处,物探发现斜交桥轴的死断层一条,其规模不大,形成于第三纪以前中生代末期。补充勘探时对桥址又作了 4 孔地震波速测井、20 点面波与地脉动测定,为特大桥抗震性评价、地震场地类别等级划分以及抗震设计所需的岩土动参数测定,提供了充分可靠的论证资料。

桥位区在大地构造上位于中朝准地台东南部边缘,处于次一级构造鲁西中台隆之中的徐淮断陷褶皱束东界部位。其西侧即为鲁西中台隆断裂带,东侧 10km 即为郟庐断裂带。京杭运河桥处于北西向 HF109 与 F110 两条断裂层之间。在桥址区没有大的地震和大的断裂活动。

该区地层主要分布有亚砂土、亚粘土、粘土、中砂、粗砂、粉砂、泥岩、强风化岩。

第二节 方案比选

一、方案论述

桥型方案设计是桥梁设计中最重要的一环之一。桥型方案设计应按照桥址所在区域政治、经济、文化、历史及人文环境,桥梁所处的地理位置,桥梁在路线中的位置和地位,充分考虑桥位所处的自然、人文、景观、地形、地貌、地质、地震、水文、气象、水利、航运、防洪及其他客观条件等诸多因素,提出可供比选的桥型方案。

桥型方案的提出首先应满足使用要求,在安全、适用、经济、美观的前提下,与时俱进,对景观需求适当超前,与周边环境协调,技术先进可靠,充分体现桥梁的现代化建设水平。

在桥梁建设的前期工作中,由于桥型方案研究不够,设计周期不足,桥型选择不当,对新技术、新材料的信息获得滞后,对景观及人文的考虑观念落后,造成建设成本增加,养护维修困难,景观效果欠佳等现象屡见不鲜。鉴于此,有必要对桥型方案进行深入详细地研究,对方案的构思及设计进行研究,对于桥梁的设计效果,特别是对大跨度桥梁的建设具有十分重要的现实意义。

桥长的控制原则为:按照桥位的河势、通航尺度论证、地质勘探成果、防洪大堤处的桥下净空、桥头填土高度等因素决定,并通过对各比选方案就桥长、跨径组合、结构体系、施工工艺、工程造价、桥梁美学等方面进行综合技术经济分析比较,提出桥型、桥长推荐方案。

从桥梁设计角度出发,特大型桥梁工程的前期工作一般应对每个桥位主桥至少提出三个以上桥型方案,引桥至少两个方案,以便全面深入地分析论证各桥型方案的技术可行性和经济合理性,从而确定推荐桥位和推荐桥型方案。

下面从邳州京杭运河特大桥的实际工程,谈桥型方案的构思:

(1)京杭运河特大桥是连徐高速公路上的一座特大型桥梁,在满足使用功能的前提下,造型力求安全、适用、新颖、经济、美观、富有生气,能体现当今国内建桥的新水平、新技术。选用技术先进可靠、经济合理适度、施工方

便可行、使用安全耐久及景观效果明显的方案。结合京杭运河大桥桥位基础资料,经工程可行性研究论证,通过对主跨 235m 的独塔斜拉桥、主跨为 90m 的连续刚构和主跨为 235m 的自平衡钢管混凝土拱桥的技术、经济及美观方面的综合比较,最终兼顾京杭运河大桥对提升连徐路全线景观的作用考虑,确定为 57.5m+235m+57.5m 三跨自平衡钢管混凝土“提篮式”系杆拱桥。

(2)桥孔布置考虑因素:一般根据桥址区地形、地物、地质、水文、以及通航要求等,还有河面宽度、水深、流速、河床断面变化,以及提防、现有道路、通航净空及地质条件等。应尽量减少大型深水基础,对小型非活动断裂尽可能跨越,避免在断裂带上设墩。并应充分考虑桥孔的合理配置,尽量达到结构受力和造型上的和谐美。

(3)桥长控制:应视桥下通航净空、桥梁纵坡、桥孔布置、结合桥址地质情况和桥梁景观设计合理控制台后填土高度确定。一般认为,处于软土地带的桥台填土高度不宜超过 4.0~5.0m,其他情况下不宜大于 6.0~7.0m。根据当地的土工试验,京杭运河特大桥桥头填土高度按 3.5m 控制。

(4)尽可能使桥梁上、下部结构造价总和最小。

(5)为满足全线的道路景观协调,在特殊地形、地质、人文环境和城市景观引入景观效果好的桥型。

二、桥型方案研究工作和过程

桥型方案研究工作应考虑三方面的问题,首先根据以上基本原则,经工程可行性研究,在有比选价值的斜拉桥、连续梁、连续刚构、拱桥等结构体系中,提出可行的桥梁结构体系方案;其次在初步设计阶段,通过对不同方案的桥长、跨径组合、结构体系、施工工艺、工程造价、桥梁美学等方面进行综合技术经济分析比较,提出主桥桥型推荐方案;技术设计阶段,则根据初步设计批准的桥型,对相关的关键技术问题进行深入研究、计算分析,有针对性地解决关键技术,进一步进行结构优化。

引桥采用经济跨径,与主桥整体协调,满足水文及防洪等相关技术要求。桥型常采用成熟的通用结构,如“T”形梁或板梁等结构形式。完成工程数量的汇总后,进行投资估算。

对桥型主要方案的比选应进行经济分析,也就是投资估算和经济评价→初步设计概算→技术设计修正概算,为主管部门提供决策依据。

三、桥梁方案设计及布孔的主要影响因素

桥孔划分及布设影响因素较多,根据国内外相关文献及我国桥梁建设经验,一般要考虑如下几个方面的内容:

(1)结构特性影响:对结构上、下部的整体性,受力特性如抗弯、抗扭、抗震、抗风及行使条件等方面的比较;

(2)自然和通航条件:对桥位处自然条件和通航等客观条件的分析;

(3)施工难易程度:对于预应力混凝土连续梁或连续刚构桥,施工方法较为常规,技术比较成熟,而对于斜拉桥或钢管混凝土拱桥,一般施工难点在上部结构,而对于京杭运河大桥来说,河槽水深较浅,基础施工难度不大,其主要控制技术在于上部结构的施工和控制。

(4)养护难易程度:对于混凝土或预应力混凝土结构,养护工作量及成本较小;而对于钢结构,其养护工作量和养护成本就比较大。

(5)施工工艺:施工工艺的成熟与否,对桥梁的方案起到至关重要的作用。

(6)力学和美学的配跨要求:从理论方面,自平衡钢管混凝土系杆拱桥的边跨和中跨比一般在 0.18~0.24 之间,从设计的方便和受力的合理性来说以接近 0.21 为宜,这一比值的确定,直接影响到边跨拱肋的受力特点;而从美学的角度,也以边跨和中跨比取 0.21 较为合适,而边跨拱肋的矢高也是决定这类自平衡结构的受力和美观的关键因素之一。一般来说,从专业的角度对一座桥梁或其他建筑物的审美,整体结构和局部构造的协调,基本上含有对这一结构物受力的合理性和美观的考量,客观上起到了结构在宏观方面的优化效果;当然,还有不同材质等因素的影响。

表 1-3、表 1-4 为国内钢管混凝土拱桥的建设一览表。

近年来国内大跨径 ($L \geq 200\text{m}$) 钢管混凝土拱桥一览表 表 1-3

序号	桥梁名称	主跨(m)	矢跨比(f/L)	建成年份
1	重庆巫山长江大桥	460	1/3.8	2004
2	湖南茅草街大桥	368	1/5	施工中
3	广州丫髻沙大桥	360	1/4.5	2001
4	广西南宁大桥	338	1/5	施工中
5	浙江淳安南浦大桥	308	1/5.5	2002
6	重庆奉节梅溪河桥	288	1/5	施工中
7	武汉汉江三桥	283	1/5	2001

续上表

序号	桥梁名称	主跨(m)	矢跨比(f/L)	建成年份
8	广西三岸邕江桥	270	1/5	1998
9	湖北秭归青干河桥	256	1/4	1998
10	浙江三门健跳桥	245	1/5	2001
11	武汉汉江五桥	240	1/5	2001
12	浙江铜瓦门桥	238	1/4.28	2001
13	贵州北盘江铁路桥	236	1/4	2001
14	江苏邳州运河桥	235	1/4	2002
15	广西六景桥	220	1/5	1999
16	湖北恩施泥渡桥	220	1/5	施工中
17	重庆河川嘉陵江桥	210	1/4	施工中
18	湖南湘西王村大桥	208	1/5	施工中
19	四川绵阳涪江三桥	202	1/4.5	1997
20	广东南海三山西桥	200	1/4.5	1995

国内已建大跨径($L \geq 200\text{m}$)“飞雁式”自平衡钢管混凝土拱桥一览表 表 1-4

序号	桥梁名称	主跨(m)	矢跨比(f/L)	边跨/主跨	建成年份
1	上海卢浦大桥(钢拱)	550	1/5	0.18	2003
2	广州丫髻沙大桥	360	1/4.5	0.21	2001
3	武汉汉江五桥	240	1/5	0.25	2001
4	江苏邳州运河桥	235	1/4	0.24	2002
5	广东南海三山西桥	200	1/4.5	0.21	1995

注:上海卢浦大桥和江苏邳州运河桥为“提篮式”拱桥。

四、京杭运河特大桥的方案研究主要程序和内容

(1)工程可行性阶段:即第一阶段的方案研究,本阶段对适用该桥位的主桥和引桥结构形式进行布置和合理性比较以及经济评估;

(2)初步设计阶段:在工程可行性研究的基础上对推荐的桥型深入的设计研究比较,从结构的可行性、合理性及经济性等方面认真比较,还对不同结构的施工技术进行了研究探讨,提出了推荐方案以供决策部门参考。

通过各种桥型的结构、美学比较、安全性和经济性等的全面论证,京杭运河特大桥采用三跨自平衡钢管混凝土“提篮式”系杆拱桥。

本结构形式的中、边跨主体结构在力学上充分利用拱式受压构件,充分合理利用混凝土的抗压性能,同时采用高强钢铰线作为柔性系杆来平衡拱脚的水平推力,根据结构的受力特点有效利用材料的不同特性,实现结构受力与合理利用材料的统一;其次是采用“提篮式”结构,使大跨度拱桥的稳定性得以明显提高,抗震性能明显改善;施工方案采用竖向转体,很好地解决了“提篮式”钢管拱肋空中对接精度难以控制的问题,大大减少了钢结构高空焊接的数量,有效地保证了施工精度和焊接质量。

五、桥梁景观设计

从桥梁美学的角度出发,需要考虑的美学要素有比例、协调、韵律、外形、光线及颜色等。

(1)比例:结构在三维空间具有尺寸合理、比例协调,即结构各部位相对尺寸(高、宽、厚)与整体尺寸协调,给人以视觉上的平衡、稳定和安全感。

(2)协调:包括结构整体与自然环境的协调以及结构本身各局部尺寸的相互协调。根据京杭运河特大桥的线位走向及大桥结构的特点,结合场地周围的地形、地貌及地物等对主跨跨径、主跨的位置进行比较和研究,使得桥梁和道路有机结合,桥梁和周边环境相互融合。

(3)韵律:在桥梁结构设计中表现为构件的有序布置,韵律可以通过不同跨径的有序布置,装饰照明设施的合理设置,桥梁附属设施的有节律的排放,支座和伸缩缝的间距等来体现。

(4)外形:桥梁结构的外形在很大程度上受到使用功能的限制,所以首先应满足功能上的要求,实现结构功能和外形美的完美统一。

(5)光线:借助光和影,可以使结构看起来比实际状况更为纤细优美。

(6)颜色:桥梁颜色应考虑周围环境的色调,应突出主题,同时不应出现强烈的色彩反差。

第三节 桥型设计

自平衡钢管混凝土拱桥构造设计分为特殊结构部位的构造设计以及施工过程所必须的构造设计。该类型拱桥的构造形式较多,拱的形式有上承式、中承式和下承式,京杭运河大桥边跨为上承式,中跨为中承式。

上承式拱建筑高度大,对地基要求高,适合于峡谷地形。上承式钢管混凝土拱桥有助拱、桁拱、箱拱以及刚架拱和桁架拱。上承式肋拱常采用多肋