

# 部分斜拉桥结构体系分析

郑一峰<sup>1,2</sup>, 黄 侨<sup>1</sup>, 张连振<sup>1</sup>

(1. 哈尔滨工业大学交通学院 哈尔滨市 150090; 2. 吉林省公路勘测设计院 长春市 130021)

**摘 要:** 部分斜拉桥的索、塔、梁、墩通过不同的组合方式可组成塔梁固结、支承、刚构三种结构体系, 不同结构体系的力学响应有着明显的区别, 结构体系是影响结构各部荷载效应最根本的因素。本文论述了三种结构体系的特性, 计算分析了在中跨、全桥满布汽车荷载和整体升温、降温等 4 种工况作用下, 三种结构体系的内力和位移结果, 为部分斜拉桥结构方案设计提供理论参考。

**关键词:** 部分斜拉桥; 结构体系; 内力; 位移

部分斜拉桥亦称矮塔斜拉桥, 其构造特点是在连续梁中支点处设置矮索塔, 其塔高只有斜拉桥索塔高度的一半左右, 斜拉索通过矮索塔上设置的鞍座对主梁产生竖向支反力和水平压力。部分斜拉桥主梁自身刚度较大, 能够承担大部分荷载效应, 斜拉索对主梁只起到一定程度的帮扶作用。部分斜拉桥是介于斜拉桥和连续梁桥之间的一种新桥型, 兼具斜拉桥和连续梁桥的双重结构特征。

部分斜拉桥是由上部结构索、塔、梁三种基本构件和下部结构墩台、基础组成的结构体系, 影响部分斜拉桥结构各部分荷载效应最根本的因素是梁、塔、墩之间的结合方式, 不同的结合方式产生不同的结构体系。根据部分斜拉桥结构自身的特点和梁、塔、索、墩的结合方式, 可将部分斜拉桥结构体系划分为三种型式: (1) 塔梁固结体系; (2) 支承体系; (3) 刚构体系, 见图 1 所示。部分斜拉桥三种结构体系与斜拉桥相应的结构体系含义相同, 所不同的是部分斜拉桥没有斜拉桥常用的漂浮体系。

## 1 三种结构体系技术特点分析

### 1.1 塔梁固结体系

塔梁固结、塔墩分离、梁底设支座支承在桥墩上, 斜拉索为弹性支承, 这是一种完全的主梁具有弹性支承的连续梁结构。这种体系必须有一个固定支座, 一般是一个塔柱处梁底支座固定, 而其他支座可纵向活动。这种体系的主要优点是取消了承受很大弯矩的梁下塔柱部分, 代之以一般桥墩, 中央段的轴向拉力较小, 梁身受力也很均匀, 整体温度变化对这种体系影响较小, 几乎可以略去。这种体系结构整体刚度小, 当中跨满载时, 由于主梁在墩顶处的转角位移导致塔柱倾斜, 使塔顶产生较大的水平位移, 因而显著增大了主梁的跨中挠度。上部结构重力和活载反力需经支座传递到桥墩, 因此需设置大吨位支座。

我国的漳州战备桥、小西湖黄河大桥、离石高架桥; 日本的蟹泽桥、土狩大桥、木曾川桥、揖斐川桥、新唐柜大桥均采用这种体系。已建部分斜拉桥采用这种结构体系较多, 与连续梁体系相同, 符合部分斜拉桥的概念含义。

### 1.2 支承体系

塔墩固结、塔梁分离, 主梁在塔墩上设置竖向支承, 支座均为活动支座, 这种体系接近主梁具有弹性支承的连续梁结构。支承体系与梁塔固结体系主梁受力性能基本相同, 塔墩底部承受较大的弯矩。

我国芜湖长江大桥采用的是支承体系, 该体系在部分斜拉桥结构中较少采用。

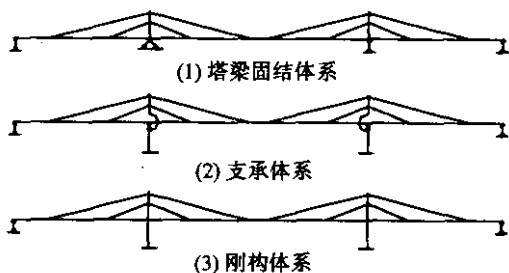


图 1 结构体系划分

### 1.3 刚构体系

梁塔墩三向互为固结,这是一种完全的主梁具有弹性支承的连续刚构结构。这种体系的优点是结构刚度大,主梁和塔柱的挠度及变形均较小,不需要支座,施工时也不需临时固结措施,最适合采用悬臂法施工。缺点是固结处主梁负弯矩大,温度变化对这种体系影响敏感,梁下桥墩高度不宜过小。刚构体系动力性能差,体系用于地震区及风荷载较大的地区时,应认真进行动力分析研究。

日本的都田川桥、又喜纳木桥和我国的同安银湖大桥都是单塔双跨部分斜拉桥,均采用刚构体系;日本的屋代南桥、屋代北桥、冲原桥、小田原港桥、保津桥、新名西桥等都是双塔三跨部分斜拉桥,也都采用刚构体系。刚构体系是部分斜拉桥采用较多的结构形式。

上述三种结构体系各有优缺点。不同的结构体系对荷载的响应差异甚大,所以应对部分斜拉桥的结构体系进行深入分析,为设计方案的选取提供理论依据。

## 2 结构体系实例分析

### 2.1 实例桥简介

以我国第一座部分斜拉桥——漳州战备桥作为实例,对其进行结构体系计算分析。该桥跨径布置为80.8 m+132 m+80.8 m,桥宽27 m,主梁采用大悬臂单箱三室箱梁,主梁高度按二次抛物线变化,跨中梁高为2.4 m,支点梁高3.8 m,桥面以上索塔高16.5 m,桥墩高28 m,主梁上索间距为4 m,索塔上索间距为0.7 m,桥型结构布置见图2所示,材料弹性模量和几何特性参数见表1。

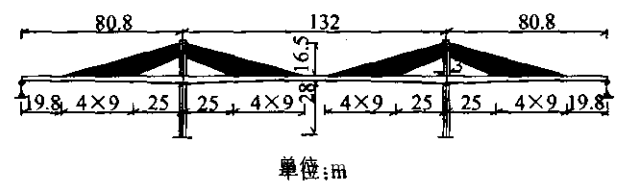


图2 桥型结构布置

表1 材料模量和几何特性参数

项 目	梁	塔	索	墩
面积/m <sup>2</sup>	15.87~39.69	5.1	$8.618 \times 10^{-3}$	16.00
抗弯惯性矩/m <sup>4</sup>	13.78~75.88	3.825		20.33
弹性模量/MPa	$3.5 \times 10^4$	$3.5 \times 10^4$	$1.9 \times 10^5$	$3.5 \times 10^4$

实例分析中活载按交通部最新颁布的《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)中规定的公路—Ⅰ级汽车荷载。汽车荷载按6车道计算,考虑车道

折减系数和箱梁偏载内力增大系数后,取车道荷载的均布荷载标准值为 $q_k=40$  kN/m,集中荷载标准值 $P_k=1\,370$  kN,集中荷载施加于中跨跨中。计算分析采用同济大学开发的《桥梁博士》软件系统。

荷载工况按中跨汽车满载、全桥汽车满载、结构整体升温20℃、结构整体降温50℃的4种工况分别加载计算。

### 2.2 计算结果

中跨满布汽车荷载时,三种结构体系产生的弯矩、轴力、位移分别见图3、图4、图5。全桥满布汽车荷载时,三种结构体系产生的弯矩、轴力、位移分别见图6、图7、图8。整体升温20℃和整体降温50℃两种荷载工况产生的弯矩见图9、图10。

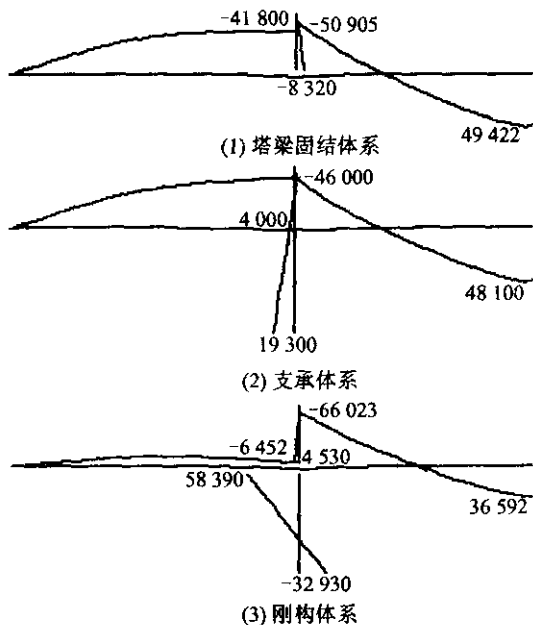


图3 弯矩图

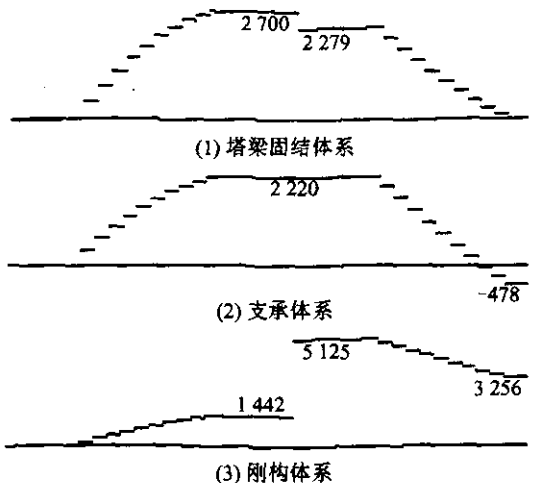


图4 轴力图

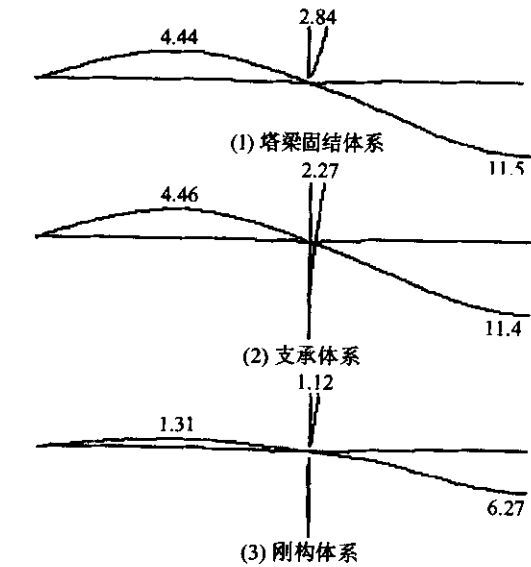


图 5 位移图

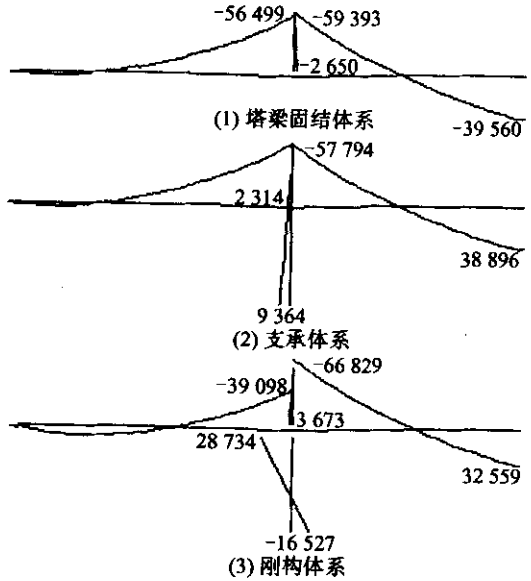


图 6 弯矩图

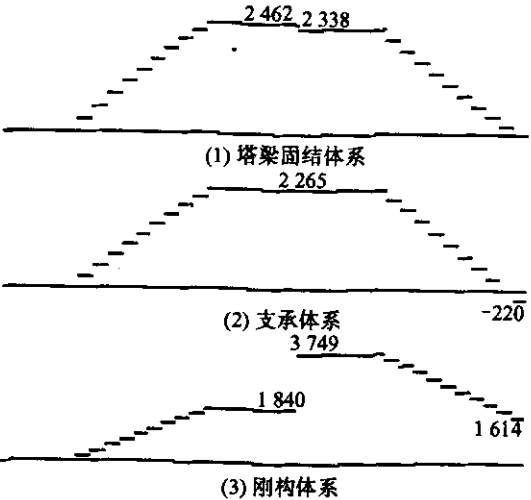


图 7 轴力图

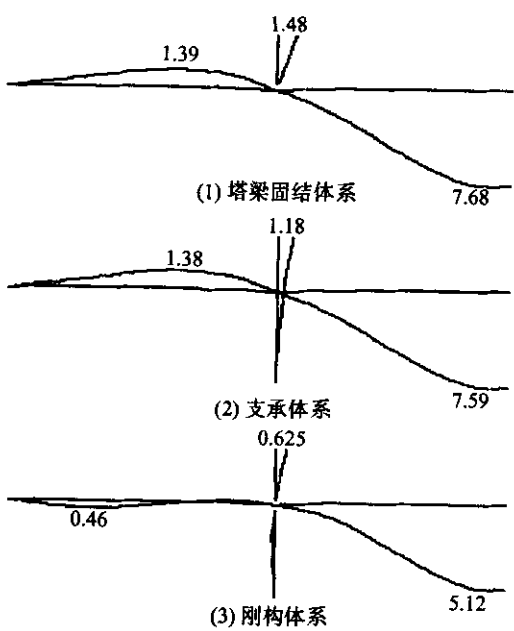


图 8 位移图

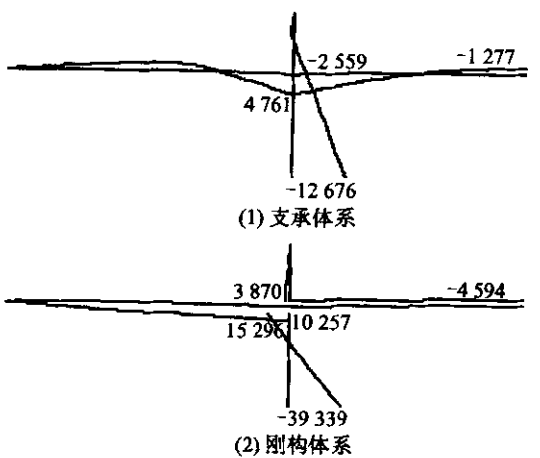


图 9 弯矩图

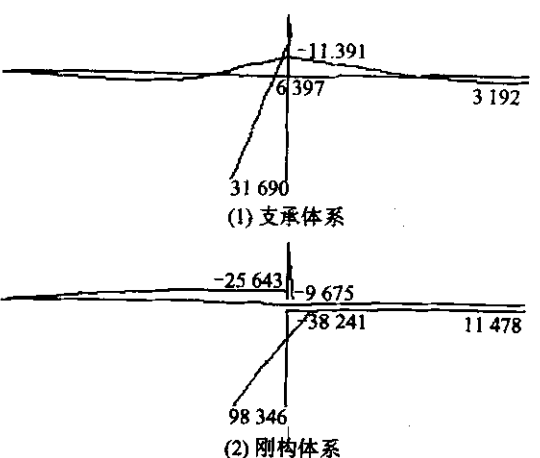


图 10 弯矩图

弯矩以主梁下缘、塔墩边跨侧受拉为正,反之为负,轴力以压为正、拉为负。三种体系位移、内力值比较见表 2。

表 2 三种体系位移、内力值比较

工 况	内力及位移		塔梁固结体系	支承体系	刚构体系
中跨满布公路— Ⅰ级汽车荷载	位移/cm	中跨跨中	11.5(1.0)	11.4(0.99)	6.27(0.55)
		边跨跨中	4.44(1.0)	4.46(1.0)	1.31(0.30)
		塔 顶	2.84(1.0)	2.27(0.80)	1.12(0.39)
	弯矩/(kN·m)	主梁塔左	—41 800(1.0)	—46 000(1.10)	—6 452(0.15)
		主梁塔右	—50 905(1.0)	—46 000(0.90)	—66 023(1.30)
		主梁跨中	49 422(1.0)	48 100(0.97)	36 592(0.73)
		塔 根	—8 320(1.0)	4 000(0.487)	4 530(0.54)
		墩 顶	0	5 910(1.0)	58 390(9.88)
		墩 底	0	19 300(1.0)	—32 930(1.70)
		主梁塔左	2 700	2 220	1 442
	轴力/kN	主梁塔右	2 279	2 220	5 125
		主梁跨中	0	—478	3 256
全桥满布公路— Ⅰ级汽车荷载	位移/cm	中跨跨中	7.68(1.0)	7.59(0.99)	5.12(0.67)
		边跨跨中	1.39(1.0)	1.38(0.99)	0.46(0.33)
		塔 顶	1.48(1.0)	1.18(0.80)	0.625(0.42)
	弯矩/(kN·m)	主梁塔左	—56 499(1.0)	—57 794(1.02)	—39 098(0.69)
		主梁塔右	—59 393(1.0)	—57 794(0.98)	—66 829(1.12)
		主梁跨中	39 560(1.0)	38 896(0.98)	32 559(0.84)
		塔 根	—2 650(1.0)	2 314(0.87)	3 673(1.38)
		墩 顶	0	3 200(1.0)	28 734(8.97)
		墩 底	0	9 364(1.0)	—16 527(1.76)
		主梁塔左	2 462	2 265	1 840
	轴力/kN	主梁塔右	2 338	2 265	3 749
		中跨跨中	0	—220	1 614
整体升温 20℃	弯矩/(kN·m)	塔 根		—2 559(1.0)	3 870(1.46)
		墩 顶		—3 930(1.0)	15 296(3.89)
		墩 底		—12 676(1.0)	—39 339(3.05)
		主梁塔左		4 761(1.0)	10 257(2.15)
		主梁塔右		4 761(1.0)	—4 594(0.96)
		主梁跨中		—1 277(1.0)	—4 594(3.59)
整体降温 50℃	弯矩/(kN·m)	塔 根		6 397(1.0)	—9 675(1.46)
		墩 顶		9 559(1.0)	—38 241(3.89)
		墩 底		31 690(1.0)	98 346(3.05)
		主梁塔左		—11 391(1.0)	—25 643(2.15)
		主梁塔右		—11 391(1.0)	11 478(1.01)
		主梁跨中		3 192(1.0)	11 478(3.59)

注：表中括号内数值为以塔梁固结体系各值为 1.0 之比例数，塔梁固结体系数值为 0 时是以支承体系为 1.0 之比例数。

2.3 计算结果分析

部分斜拉桥的三种结构体系,在中跨、全桥满布  
载、升温 20℃、降温 50℃ 4 种工况作用下,表现出了

不同的结构响应,结果分析如下。

- (1)位移分析。
- 位移数值的大小反映了结构体系刚度的大小。

塔梁固结体系和支承体系在中跨、全桥满布载时,主梁中跨跨中和边跨跨中挠度变形基本相同,相差 1%;塔梁固结体系塔顶位移略大,高出支承体系 20%。塔梁固结体系索塔位移由主梁在墩顶处的转角引起的索塔向跨中方向的水平变位和索塔弯矩引起的向边跨方向的水平变位两者叠加而成,且前者大于后者。

刚构体系在荷载作用下,表现出了明显的结构整体刚度大的优越性,梁、塔挠度较小。在中跨、全桥满布荷载时,刚构体系中跨跨中挠度分别为塔梁固结体系的 55% 和 67%,塔顶位移分别仅为塔梁固结体系的 39% 和 42%,也只有支承体系的一半左右。

### (2) 弯矩分析。

塔梁固结体系和支承体系在中跨、全桥满布荷载时,主梁塔侧和跨中弯矩相差很小,均在 10% 以内;但刚构体系的主梁塔侧和跨中弯矩与塔梁固结和刚构体系差异较大,主梁塔左侧和主梁跨中弯矩均小于上述两种体系,主梁塔右侧弯矩大于上述两种体系,中跨满布荷载时其值是塔梁固结体系的 1.3 倍。

塔梁固结体系在中跨满布荷载时塔根弯矩最大,大于支承体系和刚构体系 1 倍左右,这是由于主梁在墩顶处的转角位移使索塔产生向跨中方向的位移,从而引起边跨索力大于中跨索力,因此产生很大的弯矩。

在全桥满布荷载时,支承体系塔根弯矩略小于塔梁固结体系塔根弯矩,相差 13%,刚构体系塔根弯矩明显大于其他两种体系,分别是塔梁固结体系和支承体系的 1.38 倍和 1.59 倍。

塔梁固结体系和刚构体系的塔、墩弯矩数值大小主要取决于塔、梁、墩三者抗弯刚度比值,调整塔、墩的抗弯刚度值可改变塔、墩弯矩值。塔梁固结体系的塔根弯矩值等于主梁塔侧弯矩差值。支承体系的塔墩弯矩是由荷载引起两侧的索力差产生的,减小下塔墩高度可减少墩底弯矩,塔墩和主梁之间弯矩互不相干。

在中跨、全桥满布荷载时,三种体系的墩顶、墩底弯矩差异明显。塔梁固结体系的墩顶、墩底无弯矩作用。刚构体系的墩顶、墩底弯矩较大,在中跨、全桥满布荷载时,刚构体系墩顶弯矩分别是支承体系的 9.88 倍和 8.97 倍;墩底弯矩分别是支承体系的 1.7 倍和 1.76 倍。

结构整体升、降温度工况对支承、刚构体系产生的荷载效应十分明显,弯矩数值较大,对塔梁固结体系基本没有影响。刚构体系的温度荷载效应大于支承体系的温度荷载效应,刚构体系的塔根、墩顶、墩底弯矩分别是支承体系的 1.46 倍、3.89 倍、3.05 倍。升温 20℃ 和降温 50℃ 时,刚构体系墩顶弯矩分别为 15 296 kN·m 和 38 241 kN·m,墩底弯矩分别为 39 339 kN·m 和 98 346 kN·m,其值已超过公路—I 级汽车荷载产生的弯矩。

由于温度变化使刚构件体系产生较大的内力,为了消除此影响,须采用高薄壁柔性墩来适应温度、徐变和活载对结构产生的水平变形。

### (3) 轴力分析。

塔梁固结体系和支承体系在中跨、全桥满布荷载时,主梁塔侧轴力相近,支承体系在中跨跨中处产生轴向拉力,塔梁固结体系无轴向拉力作用。刚构体系在上述荷载作用下中跨跨中产生了较大的轴向压力,其值分别为 3 256 kN 和 1 614 kN,中跨跨中轴向压力是由墩顶剪力作用引起的。

## 3 结语

部分斜拉桥的梁、塔、墩按不同组合分别形成了塔梁固结体系、支承体系和刚构体系,在相同荷载作用下,每种体系都有其不同的力学响应,各有优缺点,通过对漳州战备桥三种不同结构体系的分析,可以得出如下结论。

(1) 塔梁固结体系整体刚度小,桥墩无弯矩作用,上部结构支反力须通过支座传递到桥墩上,须要设置大吨位支座,温度变化荷载对该体系基本没有影响。该体系适用于跨径 200 m 以内及桥墩较矮的部分斜拉桥。

(2) 支承体系主梁挠度变形与塔梁固结体系基本相同,但其索塔变形小于塔梁固结体系,主梁受力均匀,温度变化对该体系影响小于刚构体系,当桥墩较矮,增加主梁抗弯刚度时,可适用于跨径大于 300 m 的部分斜拉桥。我国的芜湖长江大桥采用该体系,主梁采用钢桁架组合梁,主跨达 312 m。

(3) 刚构体系整体刚度大,不需设置支座,但温度变化对该体系影响最敏感,主梁受力不均匀,塔、墩处作用较大的弯矩。为了减小塔、墩处弯矩,须配合薄壁高墩以适应水平变位,来调整各部位内力,该体系适用于单塔双跨部分斜拉桥,当墩高较大时,采用薄壁柔性墩,适用于各种跨径部分斜拉桥。

文章编号: 0451-0712(2005)06-0006-03

中图分类号: U442.5

文献标识码: B

# 特大型桥梁主体工程 设计方案优化与景观设置

肖 理

(湖北省黄冈市交通局 黄冈市 438000)

**摘 要:** 介绍特大型桥梁鄂黄长江大桥, 在桥位选择、主体工程结构与景观工程设置过程中的方案优化及其建设效果。

**关键词:** 特大型桥梁; 结构; 景观; 设计优化

随着我国桥梁建设技术的快速发展和经济实力的不断增强, 人们对桥梁建设的质量和服务功能提出了更高的要求。现代桥梁不仅要满足通行的基本条件, 而且在其结构、造型及景观工程设置方面要适应当地经济和社会发展的需求, 特别是跨越大江大河上的特大型桥梁, 建设标准的高低, 可以显现出一个地方桥梁建设的技术和综合服务水平。本文以鄂黄长江大桥建设的实例, 介绍主体工程设计方案优化和景观工程建设的一些具体做法。

## 1 大桥概况和建设要求

### 1.1 大桥所处地理位置

鄂黄长江大桥是 106 国道跨越长江的特大桥梁, 连接黄冈、鄂州两个中等城市。黄冈、鄂州两市地理位置优越, 交通便利, 有 3 条国道、6 条省道在这里交织, 京九铁路、黄黄高速与鄂东地区即将建设的 4 条高速公路可与大桥贯通。这里山青水秀, 环境优美。北岸黄冈境内有东湖、西湖、白潭湖、龙王山与东坡赤壁, 南岸鄂州有洋澜湖、梁子湖、莲花山与西山,

是旅游和度假的上佳之地。黄冈、鄂城又是两市政治、经济、文化和商贸中心, 是武汉经济圈重要经济组成部分, 近几年来两市经济发展迅速, 城市规模不断扩大, 经济实力不断增强, 发展前景看好。

### 1.2 设计概况和设计标准

鄂黄长江大桥按一级标准设计, 全长 3 245 m, 其中桥梁长度 2 675 m, 引道工程 570 m; 主桥为 55 m + 200 m + 480 m + 200 m + 55 m 五跨一联双塔双索面 PC 斜拉桥, 桥面宽 24.5 m (不含布索区), 双向四车道, 两侧设人行道, 净宽 1.28 m; 设计荷载为: 汽车—超 20 级, 挂车—120, 人群 3.5 kN/m<sup>2</sup>; 设计行车速度为 80 km/h; 桥面竖曲线半径为 10 000 m; 桥面纵坡不大于 3.0%; 设计洪水频率为 300 年一遇, 洪水设计流量为 83 000 m<sup>3</sup>/s; 最高通航标准为 20 年一遇, 通航净高不小于 24 m, 最高通航水位 25.58 m; 地震设防烈度为 7 度; 船舶撞击力: 主塔墩顺水流方向为 27 000 kN, 横水流方向 13 500 kN。

该桥 1997 年 10 月动工建设, 2002 年 9 月竣工, 比计划工期提前一年; 建设投资 7 亿元, 比概算投资

收稿日期: 2004-11-16

## 参考文献:

- [1] 林元培. 斜拉桥[M]. 北京: 人民交通出版社, 1995.
- [2] 王伯惠. 斜拉桥结构发展和中国经验(上册)[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [3] 顾安邦. 桥梁工程(下册)[M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
- [4] 陈亨锦, 王凯, 李承根. 浅谈部分斜拉桥[J]. 桥梁建

设, 2003, (1).

- [5] 余永强, 李敏, 陈亨锦. 漳州战备大桥主桥设计[J]. 桥梁建设, 2002, (1).
- [6] 戴利民. 协作体系斜拉桥的结构分析[J]. 同济大学学报, 2000, (1).
- [7] 陈德伟, 范立础, 张权. 独塔斜拉桥的总体布置和参数研究[J]. 土木工程学报, 1999, (3).