



第十六届 全国桥梁学术会议 论文集

(上册)
2004 / 长沙

中国土木工程学会桥梁及结构工程分会 编

人民交通出版社

China Communications Press



第十六届 全国桥梁学术会议 论文集

(上册)

2004/ 长沙



中国土木工程学会桥梁及结构工程分会 编

人民交通出版社
China Communications Press

图书在版编目 (CIP) 数据

第十六届全国桥梁学术会议论文集/土木学会桥梁及结构分会编. —北京: 人民交通出版社, 2004.4

ISBN 7-114-05019-4

I.第... II.土... III.桥梁工程-学术会议-文集 IV.U44-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 025216 号

第十六届全国桥梁学术会议论文集 (上)

中国土木工程学会桥梁及结构工程分会 编

责任校对:尹 静 责任印制:张 恺

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京鑫正大印刷有限公司印刷

开本:787×1092 1/16 印张:23.75 字数:593 千

2004 年 4 月 第 1 版

2004 年 4 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001—2000 册 定价:105.00 元(上、下册)

ISBN 7-114-05019-4

第十六届全国桥梁学术会议

学术委员会

名誉主任 范立础
主 任 项海帆
委 员 周世忠 秦顺全 孟凡超 陈明宪
牛 斌 赵基达 陈艾荣 吴亚中

组织委员会

主 任 肖汝诚
副 主 任 徐 建 杨 健
委 员 彭建国 贾哲奎 赵跃宇 张建仁
林 建 徐国辉 吕 丹 孙 斌

主 办 单 位

中国土木工程学会桥梁及结构工程分会

湖南省交通厅

协 办 单 位

湖南省交通规划勘察设计院 湖南路桥建设集团公司

湖南大学 长沙理工大学

湖南省交通科学研究院 益阳市茅草街大桥建设开发有限公司

同济大学桥梁工程系

目 录

一、大会发言

大跨度桥梁概念设计中的若干问题	项海帆	(1)
希腊 Rion - Antirion 桥工程简介	董学武 周世忠	(12)
茅草街大桥的总体设计与创新技术	陈明宪	(19)
上海东海大桥工程总体设计	林元培 章曾焕 卢永成 丁建康 张剑英	(36)
昂船洲大桥的设计优化	许志豪 黄剑波	(50)
斜拉桥安装的无应力状态控制法	秦顺全	(56)
秦沈客运专线桥梁综述及高速铁路桥梁建设的思考	刘家锋 刘春彦	(61)
论城市桥梁结构的安全度和耐久性问题	穆祥纯	(68)
怎样实现桥墩柔性防撞	陈国虞 张 澄 倪步友 王礼立 黄德进 张忠伟	(75)
无伸缩缝桥梁的桥台结点受力性能研究	彭大文 陈朝魁	(82)
既有铁路混凝土桥梁的病害与修补加固	牛 斌	(88)
桥梁结构艺术:认识、创造与评价	陈艾荣 盛 勇	(99)

二、设计与施工

高速铁路南京越江大桥的设计构思	邵长宇	(113)
无推力斜靠式拱桥体系及其优化设计	肖汝诚 郭 瑞 陈 磊 范小玲	(119)

茅草街大桥钢管混凝土拱桥结构设计·····	李 瑜	王 甜	(125)
长沙市洪山大桥(竖琴式斜拉桥)的设计与研究·····	邵旭东	陈鲁青	蒋自雄 (131)
大跨度钢桁拱梁组合体系铁路桥设计与分析·····		邵长宇	(138)
独塔自锚式悬索桥设计构思——佛山市平胜大桥			
方案设计·····	胡建华	向建军	廖建宏 (142)
一座斜拉人行天桥的“诞生”和“消失”——介绍香港旧启德机场斜拉人行天桥			
的建造与拆除·····	龚永泉	杨冠斌	陈万里 (148)
钱江四桥双层桥面拱梁组合桥的时效性分析·····	陈阶亮	吴 竣	张浩然 李国平 (155)
钱江四桥双层桥面系杆拱桥——吊杆内力的多次调整			
及优化分析·····	俞菊虎	熊永光	谭永朝 孙建渊 (162)
润扬大桥世业洲互通弯箱梁的支承方式分析·····	欧庆保	刘 华	阮 静 (169)
飞云江三桥曲塔柱桥塔设计·····	朱 玉	向 彤	南军强 (177)
钢—混凝土连续组合梁桥结构设计与分析·····	葛胜锦	刘士林	张建功 (185)
近震作用下钢筋混凝土桥墩基于位移的抗震设计·····	黄建文	朱 晞	(191)
基于环保要求跨越大面积浅水水域桥梁建设的几个问题			
与对策研究·····	张 松	朱卫国	肖 军 刘亚楼 (200)
钢筋混凝土连续曲线箱梁受力与裂缝机理研究·····		刘芸欣	虞 颜 (206)
余姚兰墅大桥主桥总体设计·····	龚一琮	汪至刚	郑宪政 许荣华 (211)
东莞鸿福路钢管拱大桥·····		惠 斌	冯燕宁 (216)
中(下)承式拱桥吊杆静张力分析方法的改进·····	杜思义	殷学纲	林顺洪 陈 淮 (225)
宁波庆丰大桥设计·····	杨士金	龚仁明	戴利民 (230)
无锡五里湖大桥——拱梁与悬索组合结构·····	李 映	郭文復	陈艾荣 (236)
昆山市南浜路夏驾河桥设计研究·····	孙 斌	肖汝城	贾丽君 孙海涛 (242)
无背索斜拉桥体系特点及关键问题初步分析·····	施新欣	阮 欣	石雪飞 (248)
桥梁 CAD 系统集成化相关研究的现状与展望 ·····		唐平波	肖汝城 (254)
湖南桥梁技术发展的回顾与展望·····		胡建华	廖建宏 (262)
东海大桥主航道桥斜拉桥上部结构设计·····	孔德军	谢尉鸿	杜 萍 邓青儿 (273)
东海大桥 70m 跨整孔预制吊装混凝土箱梁设计			
·····	颜爱华	邵长宇	邓青儿 卫 俊 (278)
大跨度桥梁工程控制的发展与展望·····		葛耀君	项海帆 (284)
悬臂拼装桥梁制造与安装线形的确定·····		李 乔	唐 亮 (297)
贵州水柏铁路北盘江大桥钢管拱——万吨单铰转体施工技术·····			陶建山 (303)
巫山长江公路大桥钢管拱肋安装与线形控制技术			
·····	汪平云	王明琪	陈显福 沈国清 汪碧云 姚德波 (311)
四孔预应力混凝土连续梁的提升——青岛市福州立交 A 匝道桥			
·····	马祥骏	孔祥福	刘立新 逢显民 曲怀海 (319)
磴口黄河大桥 50m 箱梁移动模架法施工·····			朱德安 (326)
大跨径城市高架桥的施工控制·····	周 救	牛俊武	张宏武 (331)
钢筋混凝土连续弯箱梁的温度裂缝及其控制·····		张 玥	虞 颜 (339)
重庆融侨双层螺旋式坡道桥预应力施工			

.....	刘双友	尹海宜	李 良	黄献才	刘建英	(346)
润扬大桥施工控制网复测的几个问题.....	钟建驰	冯兆祥	秦正学			(357)
自密实混凝土在润扬大桥北锚基础中的应用.....	阮 静	吉 林				(362)
单根调索技术在卢浦大桥合龙前钢拱肋轴线调整中的应用.....	韦福堂	孙长军				(366)

一、大会发言

大跨度桥梁概念设计中的若干问题

项海帆

(同济大学 上海 200092)

摘 要:概念设计是桥梁设计之魂。由于中国大桥的前期工作过于仓促,对概念设计重视不够,造成设计布局上的一些缺憾。本文是作者参加多次大桥设计评审会的一些体会,其中包括总体布置和结构构造方面的若干问题,希望能引起总工程师们的重视。

1 引言

进入 20 世纪 90 年代,中国桥梁工程界在自主建成上海南浦大桥的鼓舞下出现了全国范围内建造大跨度桥梁的高潮。各地的建设部门都以空前的规模和速度为五纵七横的国家高等级公路网建造了数以百计的大跨度悬索桥、斜拉桥、拱桥和梁式桥,以跨越大江大河、深谷,大大改变了中国的交通面貌,取得了令世人瞩目的成就。

然而,在成绩面前我们也要看到,过于追求速度造成的仓促上马使前期工作准备不足,加上在大跨度桥梁概念设计方面缺少经验和竞争的机制,和建筑师的合作也很不够,因而在众多的设计中还存在创新和美学上的不足和缺憾。

本文是作者多年来参加各种大桥设计评审会对桥梁概念设计的一些学习心得,提出来和同行们一起讨论,以期抛砖引玉,求得共识,为中国桥梁在新世纪中的进步和发展添砖加瓦,并期望中国大桥建设不但在规模上和速度上让世人称羨和惊异,而且在创新设计、先进施工技术和工程质量方面也能赢得国际同行的尊重和赞誉。

2 总体布置方面的问题

2.1 关于桥梁主孔跨度的合理性

桥梁主孔跨度是大跨度桥梁最主要的尺度。它决定了桥型的选择。主孔(通航孔)跨度首

先要满足桥下通航要求,同时要考虑主墩防船撞的安全。国内的内河航道尚无明确的统一标准,大多采用一桥一议,由交通部水运司根据桥位处航道的具体情况进行论证后作出个案决定。在这一情况下,由于中国水道的护岸工作只限于城市附近的区段,造成航道摆动较大与不够稳定。加上目前仍有大量小型船只和大型拖驳的撞墩事故发生,使航道部门往往要求采取增大桥梁主跨,以保证通航的安全。也有业主为了追求“跨度第一”,强行指示采用过大的跨度,这就带来了桥下通航高度和主跨之间比例的失调,反而造成一种压抑感。表 1 中列出了满足通航要求所需要的通航净高和净宽的正常比例。

满足通航要求所需要的通航净高和净宽的正常比例 表 1

通航等级	船的尺寸			通航要求(不减速自由航行)		
	最小吃水时船高	船长 l	船宽	净高	净宽 $3.2l$	净宽/净高
50 000	52m	275m	32m	54m	~ 880m (2×400)	16.3 (7.4)
30 000	36m	190m	26m	38m	~ 600m (2×300)	15.8 (7.9)
10 000	30m	160m	24m	32m	~ 520m (2×260)	16.3 (8.1)
7 000	26m	140m	22m	28m	~ 450m (2×225)	16.1 (8.0)
5 000	23m	115m	20m	24m	~ 370m (2×185)	15.4 (7.7)
3 000	15m	90m	15m	16m	~ 290m (2×145)	18.1 (9.1)

注:()内为两个通航孔。

由表 1 可以看出,主跨(双向通航)和通航净高的正常比例约在 15~18 之间,最大不应超过 20;如布置两个通航孔(上下行分开),则主跨和净高比应在 10 以内。然而,目前国内很多大跨度桥梁都超出了这一比例。由于主跨过份偏大,使斜拉桥桥塔的桥面以上高度和桥面以下高度的比例失调,特别是当选用在桥面标高处收腿的宝石型桥塔时,更显出下够过矮而不够挺拔,影响了桥塔造型的美观。

以南京长江二桥为例,该桥主跨达 628m,而桥下通航净高受上游南京大桥的限制仅需 24m,致使两者之比为 26.2。桥面以上的塔高为 150m,桥面以上和以下的塔高比达到 $150/24 = 6.25$,这就造成了宝石型桥塔的矮腿效果(见图 1),使斜拉桥在总体上缺少了美感。相比之下,上海南浦大桥和杨浦大桥的宝石型桥塔就有挺拔之感。

2.2 立面布置的对称性

按照航道位置布置主航道孔本是十分自然的立面布置原则。然而,有些业主偏爱在水面宽度范围进行对称布置而不顾航道位置,甚至要求通过导流工程和疏浚航道来移动航道,这是很不合理的。

国外大跨度桥梁的立面布置大都是按照航道中心线先确定主孔跨度和位置,而水中的边孔则按实际的水深和地质情况布置成左右不对称(左

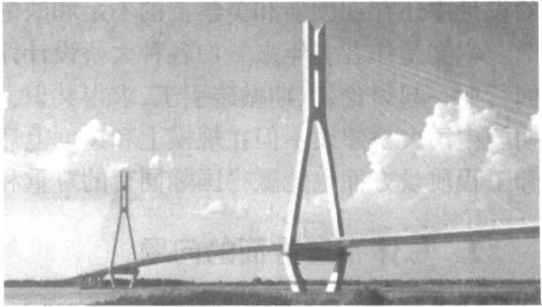


图 1 南京长江二桥

右边孔大小不同)。如水面较宽,也可以布置成对称的边孔再加上左右长短不同的非通航孔水中引桥,以形成总体上的不对称布孔,并给船舶的航行指明航道偏向水面一侧的实际位置。有时,还可以采用独塔斜拉桥的不对称布置或采用协作体系,以顺应自然,并达到经济布孔的目的。

以广州市江海特大桥的方案设计为例[图 2a)],因业主不合理地要求按水面对称布置,不得不增大主孔跨度至 428m,并需要移动航道 46.5m 以满足通航要求,但因通航孔仍偏向一侧的主墩,增加了船撞的危险性。而且,增大主孔还不利于全桥的经济性和拱桥的稳定性,同时也增加了施工难度。

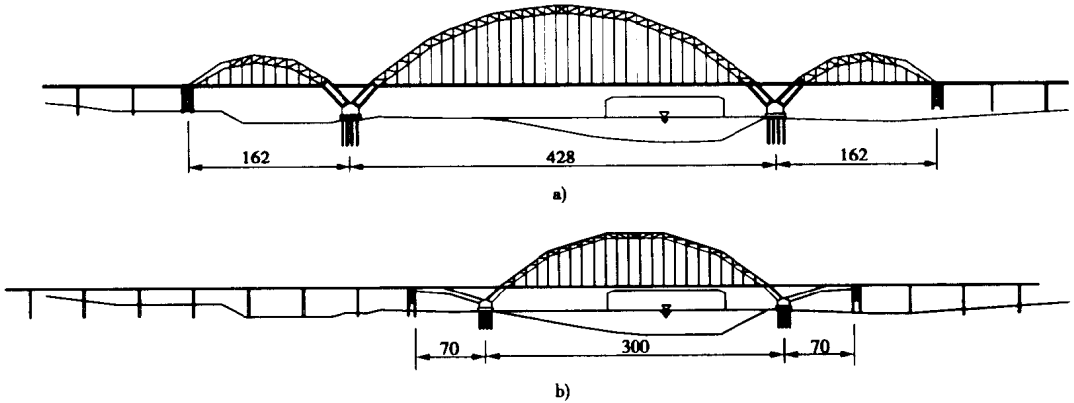


图2 广州市江海大桥立面布置(尺寸单位:m)

a)对称布置;b)不对称布置

如改用不对称布置[图 2b)],不但顺应了自然,达到了总体上的经济性和安全性;而且从美学上看,合理的不对称布置也可呈现一种美感。

2.3 斜拉桥的边孔尺度

双塔斜拉桥的边孔和中孔之比是一个在总体布置中必须着重考虑的问题。根据德国 Leonhardt 教授的早期研究,为了控制尾索的应力变化幅度以保证其抗疲劳的性能,在尾索中必须储备足够大的恒载内力,使活载引起的正负内力变化不致造成过大的应力变幅。一个重要的措施就是适当缩短边跨长度加大尾索的恒载拉力,而且恒载和活载比愈小,边跨和中跨比也相应愈小。

在锚索中最大应力与最小应力比 $k_{ac} = 0.4$ 的情况下,从图 3 中可以得出以下的关系(表 2):

国内斜拉桥普遍采用在端部设置强大的端横梁并灌注混凝土加上过渡孔的自重来提供平衡压重,在梁的外形上就会出现一个突变,影响了美观。在国外则大都采用长的锚索做成拉力支座,利用锚墩的自重来平衡尾索的上拔力,并设置连续的过渡孔(Transition span),将伸缩缝移到过渡孔的后端,以优化锚墩处的构造,如图 4 所示。

2.4 斜拉桥边跨中的辅助墩布置

关于在边跨中是否设置辅助墩也是初步设计中需要考虑的重要问题。

如果边跨也在水中,往往全桥都采用相同的桥面结构,此时设置辅助墩主要是为了提高悬臂施工阶段的抗风能力,因为平衡双悬臂施工将使摆振的频率随悬臂长度的增大而急剧下降,相应地抗风稳定性也随之下降,同时悬臂端的振幅加大,对施工很不利。在满足边跨的通航要求条件下,可设置一个辅助墩,以便提前固定一侧的悬臂形成稳定性较好的单悬臂施工。

梁的刚度对 l_a/l_m 和 p/g 的影响 表 2

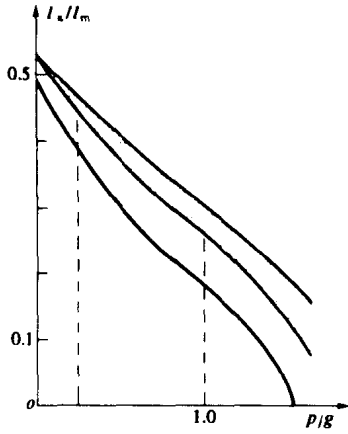


图 3 梁的刚度对 l_a/l_m 和 p/g 之间关系的影响 ($k_{\text{梁}} = 0.4$ 时)

注:实线是忽略弯曲刚度的情况,阴影部分是包含弯曲刚度的情况。

当边跨布置在岸上时,则可以采用混合桥面的方式,即边跨可采用比较经济的 PC 桥面,并布置若干个岸上边墩,使梁高满足施工阶段简支梁状态的受力要求,并和中跨的梁高协调一致。

边跨中的桥墩可均匀布置[如法国 Normandy 桥,图 5a)],也可以不均匀布置,即以河跨向岸跨方向逐步递减,以达到美学上的韵律感[如香港昂船洲大桥,图 5b)]。

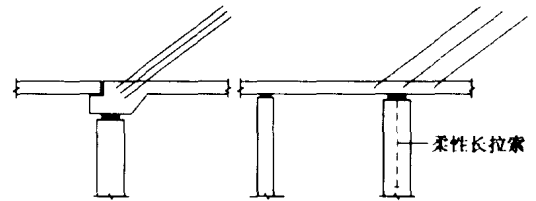


图 4 斜拉桥端部的处理

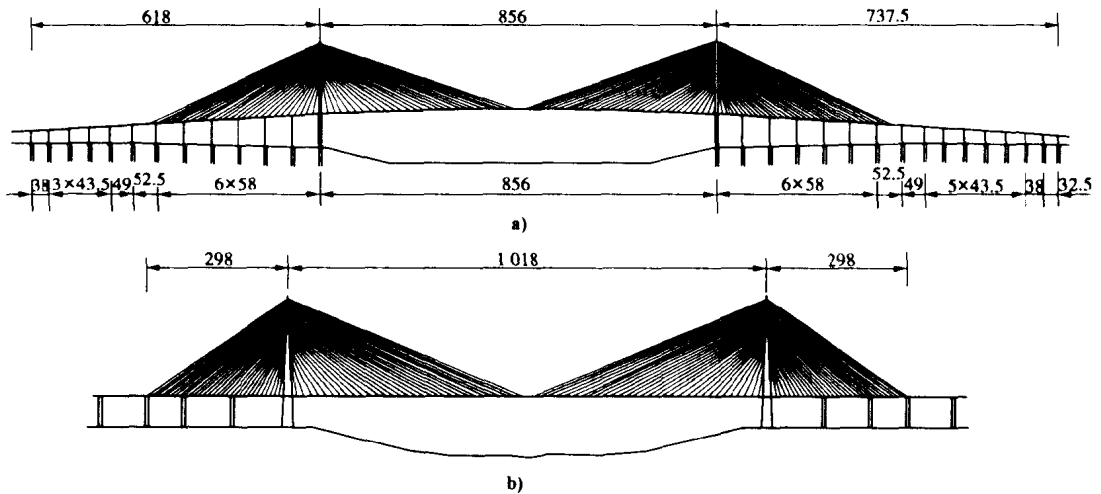


图 5 斜拉桥岸上边跨辅助墩的布置(尺寸单位:m)

a) Normandy 桥; b) 昂船洲大桥

2.5 塔型选择及比例

斜拉桥的桥塔是景观的重要因素。必须十分重视其造型和尺寸的比例,而且后者更为重

要。

已建桥梁的塔型可归纳为以下几种：

- (1) 平行索面的门式塔和 H 型塔(直柱和斜柱)；
- (2) 斜索面的 A 型塔、倒 Y 型塔, 以及桥面以下收腿形成的宝石型；
- (3) 单索面的独柱塔(香港昂船洲大桥)以及附加斜拉索后改为斜索面的混合宝石型塔(如香港汀九桥)。

各种塔型如图 6 所示。

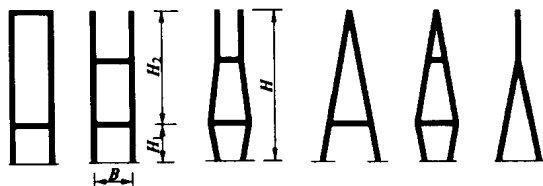


图 6 各种斜拉桥塔型

在这些塔型设计中要特别注意以下两个比例：

- (1) 桥面以上塔高和塔宽之比 H_2/B ；
- (2) 桥面高和全塔高之比 H_1/H 。

斜拉桥的桥面以上塔高与主跨 L 的经济比 $H_2/L \approx 0.2 \sim 0.25$ 。由于国内大部分桥梁要求 6 车道的桥面宽度, 即 $B \geq 30\text{m}$ 。如希望 H_2/B 达到 4 以上, 使塔型有挺拔之感, 则主跨 L 必须满足下式要求：

$$L > \frac{H_2}{0.2 \sim 0.25} = \frac{4B}{0.2 \sim 0.25} = \frac{12D}{0.2 \sim 0.25} = 480 \sim 600(\text{m})$$

可见, 跨度不足 500m 的斜拉桥, 如桥宽超过 30m, H_2/B 的比例就不够好, 塔型会显得矮胖而不美观。

桥下通航净空高度决定了桥面高度 H_1 , 如希望 H/H_1 达到 4 以上, 则主跨 L 应满足下式要求：

$$L \leq \frac{H_2}{0.2 \sim 0.25} = \frac{H - H_1}{0.2 \sim 0.25} = \frac{H_1 \left(\frac{H}{H_1} - 1 \right)}{0.2 \sim 0.25} = \frac{3H_1}{0.2 \sim 0.25}$$

即 $L \leq (12 \sim 15)H_1$ 或 $\frac{L}{H_1} \leq 12 \sim 15$ 。

由此得： $H_1 = 30\text{m}, L < 15H_1 = 450\text{m}$

$H_1 = 40\text{m}, L < 600\text{m}$

$H_1 = 50\text{m}, L < 750\text{m}$

$H_1 = 60\text{m}, L < 900\text{m}$

前已提到, 如南京长江二桥, 桥面高度不足 30m, 主跨达 628m, 是不合适的, 在通航上也是不必要的。过大的跨度使收腿后的桥面下塔柱占塔总高度之比偏小, 造成矮腿的不良美学效果。同理, 苏通大桥的主跨达 1 088m, 但桥下净空高度不足 60m, 如采用收腿的宝石型桥塔比例也不够好, 改用倒 Y 型不收腿的塔型就比较美观, 是正确的选择。

香港昂船洲大桥主跨 1 018m, 竞赛方案中桥塔如独柱桥塔、A 型塔、倒 Y 型塔都避免了收腿带来的比例失调问题。

除南京二桥外,岳阳洞庭湖大桥、白沙洲大桥和润扬长江大桥辅航道桥也都采用收腿的宝石型桥塔,其桥面以下高度和总塔高的比例都偏小,给人以矮腿之感,影响了桥塔的美学效果。上述各桥都是不合理追求大跨度的结果。只有使通航净高和主跨保持适当的比例,才能得到造型优美的桥塔。

2.6 不对称独塔斜拉桥及协作体系

在河流弯道处,主流常偏向一岸,形成不对称的河床断面。此时采用不对称的独塔斜拉桥是比较合适的,如德国莱茵河 Flehe 桥,见图 7 所示。浅滩中的边跨可布置成小跨,并采用 PC 桥面,而河跨则用钢桥面,形成十分经济且便于施工的混合桥面。

第一座采用协作体系的独塔斜拉桥是美国 East Huntington 桥,如图 8 所示。由于河跨一侧的引桥采用多跨连续梁形式,于是利用伸出的悬臂和斜拉桥相对接形成了协作体系。为了使采用边梁的双索面斜拉桥桥面和采用中央箱梁的连续梁桥面能够平顺对接,必须设置一个过渡段,使桥面构造比较复杂。这是协作体系的一个缺点。

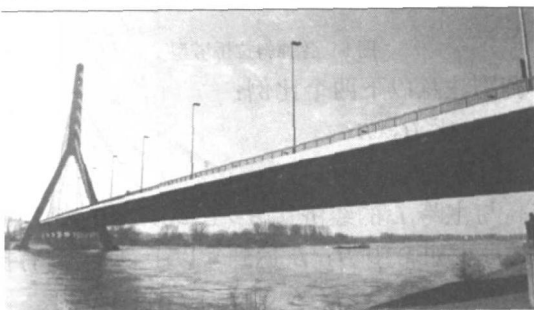


图 7 德国莱茵河 Flehe 桥

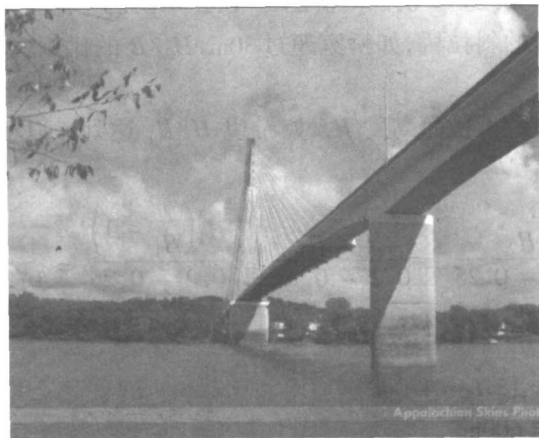


图 8 美国 East Huntington 桥

我国宁波招宝山大桥有类似的地形,也采用了带协作体系的独塔斜拉桥和桥面连接构造的过渡段。虽然该桥在斜拉桥悬臂施工中,因控制不当出现了箱梁部分腹板和底板的压溃事故,但经拆除和修补损伤区段,并对施工控制方法和预应力布置作了调整后,成功地建成了该桥。可见,只要对设计和施工处理得当,这种带协作体系的独塔斜拉桥在特殊的地形条件下还是很合适的。

2.7 悬索桥的边跨布置

悬索桥目前都采用竖直双索面的布置形式(超大跨度悬索桥有可能出现三索面或空间索

面的情况),因而相应的塔型变化不大,大都采用门式桥塔,仅横梁的数目不同而已。

主要的问题是在主跨确定后如何按地形条件布置适当的边跨。当边跨要跨越水面且较长时就要悬挂在主缆上形成三跨连续桥面。如桥塔已上岸,则主缆可直接进入锚碇,而用独立的小跨度引桥形成单跨悬索桥。当两岸情况不同时,可采用一边有连续边跨桥面,一边独立小跨的不对称布置,甚至采用部分悬挂、部分独立小跨的特殊布置方式,不要为了构造和计算简单而采用不合理的对称布置。典型的悬索桥边跨布置方式如图9所示。

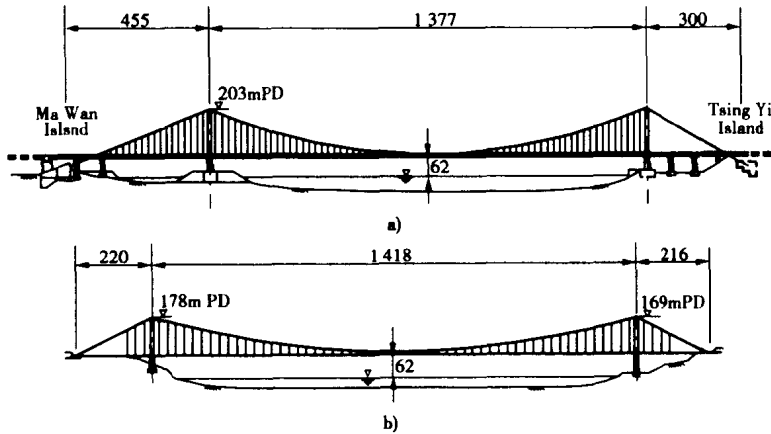


图9 悬索桥的立面布置(尺寸单位:m)
a)香港青马大桥;b)香港青龙大桥

3 结构和构造方面的问题

3.1 主梁梁高的合理选择

悬索桥和斜拉桥主梁的梁高选择是概念设计中的重要问题,需要考虑的因素有以下两个方面:

(1)主桥和引桥主梁高度的协调

大跨度悬索桥或斜拉桥为主桥的立面布置都要配以两岸一定长度的引桥。引桥桥型一般都会选择经济孔径如50~70m的中小跨度连续梁或简支梁,梁高在2.5~3m左右。为了使整个桥梁的桥面有一个统一的侧面高度,以达到美学上协调一致,主桥的桥面高度应当和引桥的主梁高度相接近,避免较大的跳跃。

(2)满足大跨度主桥的抗风要求

从抗风稳定性角度看,悬索桥和斜拉桥对主梁高度的要求是不同的。悬索桥大都采用平行的直索面,此时主要依靠主梁梁高提供抗扭刚度和相应的扭转频率,因而主梁高度不宜过小。如丹麦大海带桥最后选用4.5m的梁高,主梁的宽高比 $\frac{B}{h} = \frac{28}{4.5} \leq 7$,以获得足够的扭频和扭弯频率比。润扬长江大桥采用的梁高偏小,虽可减小侧向风荷载,但因扭频低,使稳定性不足,最后不得不加设中央稳定板以满足抗风要求。大跨度斜拉桥一般都采用斜索面布置形式。此时由于斜索面(结构措施)提供了很好的抗扭能力,主梁梁高可尽量选得小些,通过较大的宽高比以减少风阻和涡振。如选用平行索面甚至中央单索面的斜拉桥,则仍需考虑主梁应具有足够的高度和抗扭刚度。当采用分离双箱和中央开槽的断面(气动措施)时,主梁高度又可以选得尽量小些,因为分离箱已提供了足够的气动稳定性。

3.2 桥面结构形式的选择

结合梁桥面是界于 P.C. 桥面和钢桥面之间的一种中间形式,其自重约 30t/m ,也介于 P.C. 桥梁(50t/m)和钢桥面(15t/m)之间。很自然地,在斜拉桥很大的适用范围($L = 200 \sim 1\,000\text{m}$)中,三种不同桥面应当分别占有各自最经济合理的一段。

(1) P.C. 桥面(适用于 $L = 200 \sim 500\text{m}$)

当悬臂长度超过 250m 时,较重的 P.C. 桥面将暴露其弱点。为减轻自重需要减薄箱梁的壁厚,并由此增大施工阶段的应力水平,加上必需的预压应力以抵抗今后活载的拉应力。如控制不当或施工质量有问题,就会出现如宁波招宝山大桥的“顾此失彼”的被动局面,甚至导致局部压溃的严重事故。

(2) 结合梁桥面(适用于 $L = 400 \sim 700\text{m}$)

结合梁桥面由于覆盖有一层预制混凝土桥面,使桥面的沥青铺装条件和引桥的 P.C. 梁一致,特别是在目前高温地区的钢桥面铺装技术仍存在问题的情况下,选用结合梁可免除后顾之忧。结合梁的钢主梁和横梁组成梁排,制造和安装十分方便,可采用高强螺栓连接,施工便捷,造价也比钢箱梁低廉。在 700m 以下的斜拉桥中,只要采用斜索面布置,这种开口结合梁已具有足够的抗风能力,如主跨 605m 的福州闽江大桥所证明的。虽然结合梁桥面比钢箱梁桥面重,拉索用钢量和基础工程量相应增大,但综合的经济指标仍比钢箱梁好,是值得考虑的。

(3) 钢箱梁桥面(适用于 $L = 700 \sim 1\,200\text{m}$)

超过 700m 的斜拉桥应当选择自重轻的钢桥面。对苏通长江大桥的研究表明,当采用斜索面和六车道的闭口扁箱梁的桥面时,其临界风速已超过 100m/s ,能够满足世界绝大部分台风多发地区的抗风要求。如斜拉桥的边跨已上岸,则可选用边跨为 P.C. 桥面、主跨为钢桥面的混合形式,桥梁的刚度和抗风稳定性也将进一步提高。

3.3 拉索类型的选择

现行的拉索类型主要有两种:

(1) 日本首创的热挤平行钢丝拉索

热挤平行钢丝拉索是指用电缆技术生产的热挤 P.E. 索套防腐,拉索端部的锚固则采用钢丝镦头和环氧冷铸的抗疲劳技术。整个拉索在工厂制成成品索运至工地安装。日本大部分斜拉桥(包括主跨 890m 的多多罗桥)以及中国大部分斜拉桥都采用这种拉索类型。其主要缺点是吨位大的超长索运输和安装不便,而且需要大吨位的张拉千斤顶,塔顶锚固区需要较大的安装和施工空间。

(2) 法国公司首创的平行钢绞线拉索

平行钢绞线拉索是指用单独防腐的单根钢绞线,排列成平行的拉索。拉索的锚固则采用多孔的夹片群锚。拉索两端的锚固及其防腐系统需要在工地制作是其主要缺点,但单根的钢绞线安装及张拉方便,且可单根更换。成索后,只要低量程的千斤顶进行总调,需要的施工空间可减少,是欧洲斜拉桥乐于采用的方式。

上述两种拉索类型在两座超千米的斜拉桥(香港昂船洲大桥 $L = 1018\text{m}$, 苏通长江大桥 $L = 1088\text{m}$)的设计中进行了比较,考虑到平行钢绞索拉索的外层 P.E. 防腐索套直径比平行钢丝拉索的热挤 P.E. 索套要大一倍左右,使拉索上的风载大大增加,导致在静风载作用下主梁侧向位移和塔顶位移较大,梁内的侧向弯矩和剪力也较大的不利情况,两座大桥都选用了平行钢丝拉索方案,同时采取适当措施以克服运输和施工安装中的困难。