

中国公路学会桥梁和结构工程学会

一九九七年桥梁学术讨论会

论 文 集

中国公路学会桥梁和结构工程学会
湖南省公路学会
湖南省公路桥梁建设公司
湖南省交通规划勘察设计院

人民交通出版社

内 容 提 要

该文集由 1997 年桥梁学术讨论会征集的论文中精选 92 篇汇编而成。主要内容有: 公路桥梁上、下部构造的设计、施工和科研方面的新技术、新理论、新方法; 桥梁加固改造的方案、设计经验; 互通式立交工程方案、设计经验等。

中国公路学会桥梁和结构工程学会

一九九七年桥梁学术讨论会论文集

中国公路学会桥梁和结构工程学会

湖南省公路学会

湖南省公路桥梁建设公司

湖南省交通规划勘察设计院

插图设计: 高静芳 版式设计: 崔凤莲 责任校对: 张莹

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号)

各地新华书店经销

印刷厂印刷

开本: 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张: 30.625 插页: 1 字数: 771 千

1997 年 11 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001- 2200 册 定价: 50.00 元

ISBN 7-114-02821-0

U · 02011

中国公路学会桥梁和结构工程学会 一九九七年桥梁学术讨论会论文集编委会

主 编:戴 竞

委 员:(以姓氏笔画为序)

王永珩 王建瑶 余力行 严文彪 陈明宪

张喜刚 吴德心 彭宝华 曾宪武 魏代章

前 言

近十年来,随着我国公路事业的蓬勃发展,跨越大江大河和海湾的大跨径桥梁的数量越来越多。高速公路上的桥梁,亦类型繁多,风格各异,结构形式不断创新。悬索桥有已相继建成的西陵长江大桥(主跨 900m)、虎门大桥(主跨 888m)等;正在建设的有江阴长江公路大桥(主跨 1 385m)、厦门海沧大桥(主跨 648m)。公路斜拉桥主跨在 400m 以上的有七座,其中重庆二桥(主跨 440m)已建成,南京长江第二大桥(主跨 628m)已经开工。拱桥建筑在我国历史悠久,近年来有更大的发展。如贵州江界河桥(主跨 330m)、广西邕宁大桥(主跨 312m)均已竣工。最近建成的四川万县长江公路大桥(主跨 420m)是世界上跨径最大的钢筋混凝土拱桥,湖南乌巢河桥(主跨 120m)是世界跨径最大的石拱桥。预应力混凝土连续刚构桥自广东洛溪大桥建成后,相继新建了多座,广东虎门大桥辅航道桥(主跨 270m)为世界同类型桥梁中跨径最大者。我国桥梁建设的成就,标志着我国桥梁建筑技术已跨入世界先进行列。

在桥梁建设进程中,有些重要问题,亟待进一步研究:

1. 选择最佳合理桥型,须符合经济适用要求,外形美观,并注意与周围环境相协调。
2. 中等跨径桥梁及跨线桥、高架桥等,在公路上数量最多,投资较大,应选择合理结构形式,采用先进施工方法,以节省材料,降低造价。
3. 桥梁下部结构与基础,工程艰巨、工期长、费用高,应研究采用合理的结构形式与施工方法,以缩短工期,节省投资。
4. 其它桥梁构件如护栏、支座和伸缩缝等,影响工程质量、行车安全及使用效果和寿命,需改进提高。
5. 公路桥梁为数多,长期使用后需要及时整修或加固,以延长使用寿命并策安全。采用有效的加固措施,乃是桥梁维护的重要课题。

“1997 年桥梁学术讨论会”由中国公路学会桥梁和结构工程学会、湖南省公路学会、湖南省公路桥梁建设公司、湖南省交通规划勘察设计院联合在湖南召开,集国内桥梁界同行、专家,对目前桥梁建设中存在的重大问题共同研究,以期使桥梁建筑技术不断提高。会议共收到论文 92 篇,重点反映了我国近年来桥梁工程建设的经验与成就,兹汇编成册,以资交流,共同提高。对论文作者的热忱和人民交通出版社的鼎力支持,谨致谢意。

论文集编委会

1997 年 8 月

目 录

I 规则与设计

| | |
|---------------------------------------|-----------------------|
| 岳阳洞庭湖大桥设计构思 | 魏代章 朱若常(1) |
| 岳阳洞庭湖大桥设计 | 胡建华 李迪清 廖建宏 周宏林(8) |
| 岳阳洞庭湖大桥三塔斜拉桥设计 | 廖建宏 李迪清 胡建华 周宏林(13) |
| 岳阳洞庭湖大桥主桥副孔 50m、30m 连续箱梁设计 | 吴方遒 向建军(20) |
| 岳阳洞庭湖大桥 50m 顶推连续梁设计 | 杨沪湘(24) |
| 用顶推法形成大跨径变截面连续梁边跨的设计研讨 | 李仁(28) |
| 首选薄壁式桥台 | 罗建军 王俏(33) |
| 长沙湘江南大桥技术经济分析 | 邵旭东(38) |
| 我国公路预应力连续梁桥技术经济指标分析 | 刘效尧(41) |
| 桥型方案的优化选择 | 胡文学(44) |
| 泸州长江二桥设计 | 庄卫林(49) |
| 青岛海湾大桥 | 姜 震 陆宗林(53) |
| 从重庆高家花园嘉陵江大桥谈预应力混凝土连续刚构设计 | 罗凤林 曹明生(58) |
| 丰都长江大桥主跨 450m 悬索桥设计 | 朱捡来(62) |
| 吉利河大桥设计 | 李恒俊 王春生(66) |
| 佛山大桥新桥预应力连续箱梁桥设计 | 吴汉章 胡拯民(70) |
| 厦门海沧大桥悬索桥设计 | 孟凡超(74) |
| 厦门海沧大桥总体静力分析 | 许 航(86) |
| 厦门海沧大桥悬索桥主缆线形设计 | 吴伟胜 王仁贵(90) |
| 澄城西河大桥预应力混凝土连续刚构桥设计 | 马保林 李乐州 金泰丽(95) |
| 悬索桥空缆线形探讨 | 戴正宏 张劲泉(99) |
| 从劲性钢骨架拱桥到钢管混凝土拱桥 | 王伯惠(104) |
| 也谈钢管混凝土拱桥 | 向中富(115) |
| 广西邕宁邕江大桥非常规优化设计 | 李毅谦 翁彦荣 徐凤云 王 波等(119) |
| 一种新型中承式、上承式连拱——广东省东莞市高步大桥 设计 | 温代贤 谢源生 林鉴章(124) |
| 刚性拉杆斜拉桥中的拉杆设计 | 张异常 季 民 缪玉玲(129) |
| 无粘结部分预应力空心板梁桥的设计研究与实践 | 李文伦(135) |
| 钢筋混凝土构件最优结构设计 | 刘桂生(143) |
| 中小跨 RC 连续箱梁在高架桥中的应用 | 胡崇武 龙 涛(146) |
| 环线韶山路立交工程设计 | 彭 彦(149) |
| 银北立交桥方案设计 | 吴建武(153) |
| 轻轨高架线结构方案探讨 | 周志祥 彭在萍 张兴来(158) |

| | |
|--------------------------------|--------------------------|
| 太原武宿立交枢纽工程几个设计特点..... | 张华新(162) |
| 绥芬河至满洲里公路牡丹江段三股线高架桥 设计..... | 信 岩 赵庭耀 毕万本 肖 宏 刘道范(166) |
| 沈阳市新开河上的桥梁..... | 陈智仁(174) |
| 新安江大桥和绍兴轻纺大桥设计与施工..... | 陈天虎(183) |
| 浅谈山城重庆立交特色..... | 孙家驷(186) |
| 浅论互通式立交美学 | 吴国雄 孙家驷(188) |
| 苏州市齐门立交工程 | 陶子浩 李新佳(192) |
| 虎门大桥辅航道桥及引桥伸缩缝设计与计算..... | 武晋荣(196) |
| PHC 管桩在雅瑶立交桥溶洞基础中的应用 | 周宝标 俞建立(200) |
| 非对称弯曲问题在桥梁设计中的探讨 | 郑如聪 张元星(204) |
| 新加坡兀兰高架桥设计..... | 谭发茂(208) |
| 全断面预应力束同步张拉法在连续梁桥设计中的应用 | 潘 龙 易建国 潘光有(212) |
| 对“公路斜拉桥设计规范(试行)”的一些意见 | 岑国基 王伯惠(220) |
| 高速公路上桥梁布孔及桥面平整度 | 沈 汉 沈莲芬(226) |
| 山区低等级公路桥位选择的探讨..... | 熊世龙(229) |
| 浑河长青大桥的建设..... | 姜妹非(234) |

II 施工与控制技术

| | |
|------------------------------------|-----------------------------|
| 斜拉桥施工..... | 陈明宪 彭力军(238) |
| 大直径空心桩基础施工技术及其发展 | 上官兴 雷岳 陈柏林 唐义方 胡永春 戚义方(245) |
| 桃源沅水大桥跨度 1220m 缆索起重机设计与 安装..... | 上官光 徐福林 张炳森 陈柏林 黄宣政(251) |
| 超大型沉井施工技术 | 王有忠 侯延安(260) |
| 江阴长江公路大桥南锚的施工测量..... | 何书轩(266) |
| 江阴长江公路大桥南锚碇施工温度控制..... | 丁腊荣(271) |
| 中小跨径梁式桥原位升降的施工方法 | 李发春 黄凤军(275) |
| 钢管混凝土系杆拱桥的无支架施工 | 冯泉钧 苏松源 夏锡冬(280) |
| 运用斜拉式挂篮进行预应力变截面连续箱梁悬臂施工..... | 方么生(286) |
| 吊桥缆索垂度施工控制..... | 邬晓光(292) |
| 二百米高塔施工方案 | 胡玉山 杨嘉璞(296) |
| 水下深层控制爆破在深水基础施工中的应用 | 应国耀 刘泽琳(302) |

III 结构分析及试验研究

| | |
|--------------------------|----------------------|
| 多塔斜拉桥的几何非线性分析 | 丁泉顺 廖建宏 胡建华(308) |
| 三塔斜拉桥的三主梁动力计算模式 | 唐冕 胡建华 魏代章(311) |
| 悬索桥的几何非线性 | 王解军 陈素君(317) |
| 大跨混凝土梁桥的后期徐变问题研究..... | 张立乾 邵旭东(321) |
| 岳阳洞庭湖大桥预应力索塔的分析..... | 邵旭东 李立峰 程翔云 胡建华(326) |
| 衡阳湘江三桥预应力空心索塔的分析研究 | 李立新 李立峰 邵旭东(331) |

| | |
|--------------------------------------|--------------------------|
| 确定斜拉桥初索力的拉格朗日乘子法 | 周明 陈政清(336) |
| 变截面长悬臂宽箱梁桥翼缘有效分布宽度 分析 | 经柏林 鲍卫刚 郑绍硅 邵旭东 程翔云(340) |
| 成拱拱轴线偏差对拱桥承载能力和稳定安全度的 影响..... | 翁彦荣 徐风云 李毅谦 王波(346) |
| 桥梁结构基于模型修正理论的损伤识别 | 张启伟 范立础(354) |
| 已建桥梁结构可靠度的模糊动态评价 | 牛宏 牛小平(360) |
| 圆形钢围堰沉井及桥墩的局部冲刷计算..... | 汪克来(364) |
| 直、曲线独柱支承连续箱梁桥的空间分析 | 王拥军(370) |
| 加劲板理论的近似方法及实用建议..... | 谢帮珠(379) |
| 服役桥梁结构维护可靠性的探讨 | 徐振立 胡崇武(383) |
| 空间预应力异形桥梁分析与应用..... | 刘忠(391) |
| 钢筋混凝土桥面板的简化极限分析法 | 陈礼彪 漆光荣(396) |
| 薄壁曲箱梁桥的剪力滞..... | 罗旗帜(400) |
| 曲线预应力筋的弯曲应力计算..... | 朱新实(407) |
| 三跨变截面连续箱梁斜弯桥荷载横向分配的研究 | 孙全胜 毕乃连 毛文荣(409) |
| 延安王家坪延河大桥稳定分析 | 金泰丽 马保林(415) |
| 桥梁博士系统的基本构思、功能和发展前景 | 周宗泽 石雪飞 易建国(419) |
| 节段施工桥梁全过程分析的通用程序设计 | 李传习 聂淑贞 张建仁(424) |
| 32 位 WINDOWS 环境下桥梁有限元结构分析软件开发 | 吕建鸣(431) |
| 带有刚臂的空间梁单元及其在混凝土斜拉桥空间分析中的 应用..... | 梁硕 张弘强 刘晓佳 张坚(441) |
| WINDOWS95 环境下《桥梁设计综合程序 BCD》的开发 | 竺洁蓉 李德刚(447) |

IV 旧桥改造与加固

| | |
|-------------------------------------|----------------------|
| 旧桥加固改造与应用技术探讨..... | 罗娘火(453) |
| 从国道 324 线坂头桥、双溪桥拓宽加固谈旧桥技术改造 | 王 涛(458) |
| 钢筋混凝土简支 T 梁加固设计与施工 | 胡玉山 杨嘉璞(465) |
| 西安高速公路内邱互通立交 1-3 桥左半幅箱梁顶板修复总结 | 郁晓军 李寿华(470) |
| 重庆朝阳大桥固定支座修复设计..... | 周水兴 徐君兰 向中富 戴正宏(475) |
| 对桥面裂缝及桥面铺装层破坏的讨论 | 凌坚 李志能(479) |

规划与设计

岳阳洞庭湖大桥设计构思

魏代章 朱若常

湖南省交通规划勘察设计院

一、前言

洞庭湖像一颗璀璨的明珠,千百年来镶嵌在湘北平原上,她的乳汁润育着盛产粮、棉、油的三湘沃野,极丰富的水产资源让成千上万的湖区人民繁衍生息。驰名中外的江南名楼——岳阳楼,点缀在一碧万顷的湖畔,范仲淹“先天下之忧而忧,后天下之乐而乐”的绝句,使得不少墨客骚人向往这春和景明、渔歌互达的旅游胜地。偌大的湖泊绝非终日水天一色,世界上的事情往往有它的两个方面,洞庭湖由于承我省四水之流(湘、资、沅、澧),融长江四口之洪(松滋、太平、藕池、调弦),而仅一处出口归入长江(城陵矶),湖区洪水来源众多,情况复杂,顶托倒灌严重,水流紊乱,加上湘北平原的气候多变,冬春两季阴风怒号,浊浪排空的恶劣天气时有发生。解放以前两岸人民的交通十分不便,解放以后党和政府为了开发建设洞庭平原,相继修筑了岳阳经华容、南县、安乡、津市至常德地区的公路(省道 1804 线,又称湘北干线),并于 1971 年修建了横渡洞庭湖的岳阳北门渡口,使得湖区的经济有了较大的发展。特别是改革开放以来,岳阳市这座具有悠久历史的文化名城,已成为我省经济发展的北大门,又是国务院确定的沿江开放城市及直接对外贸易口岸,发展十分迅速。省道 1804 线几经改造后道路畅通,加深了岳阳市与长江中流地域的联系,渡口交通量日趋增多(交通发展预测如表 1)。由于洪水期水面宽度在 4 500m 左右,渡口越来越不适应交通量的增长(近年渡口交通量统计如表 2),已在某种程度上开始制约了岳阳市和湖区的经济发展。特别是历年来洞庭湖水患严重,为确保湖区人民受洪水灾害时生命财产的安全,修建岳阳洞庭湖大桥已势在必行。对此省委、省政府、特别是交通部门十分关注,1993 年提出了建设岳阳洞庭湖大桥的设想,并于 1994 ~ 1995 年分别由我院编制了大桥的预可和工可,1996 年进行了初步设计,同年 12 月 19 日大桥正式开工。

交通量发展预测

表 1

| 预测年 | 预测交通量(辆/日) | 注 | 预测年 | 预测交通量(辆/日) | 注 |
|------|------------|----------|------|------------|---|
| 2000 | 7 131 | 均为折算成中型车 | 2015 | 17 900 | |
| 2005 | 10 327 | | 3020 | 22 640 | |
| 2110 | 14 256 | | | | |

岳阳渡口历年基本情况表

表 2

| 项 目 | 1985 年 | 1988 年 | 1987 年 | 1988 年 | 1989 年 | 1990 年 | 1991 年 | 1992 年 | 1993 年 | 1994 年 |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 职工人数(人) | 82 | 88 | 95 | 101 | 107 | 120 | 131 | 142 | 169 | 207 |
| 年渡运车辆(辆) | 379 177 | 409 754 | 440 339 | 458 200 | 439 136 | 496 313 | 582 509 | 654 321 | 707 183 | 781 605 |
| 年均日渡运量(辆/日) | 1 039 | 1 123 | 1 206 | 1 256 | 1 203 | 1 360 | 1 596 | 1 814 | 1 932 | 2 085 |
| 最多一天渡运量(辆/日) | 1 409 | 1 850 | 2 000 | 1 852 | 1 600 | 2 029 | 2 247 | 2 307 | 2 351 | 2 469 |
| 年渡运时间(h) | 11 968 | — | — | 10 428 | 9 780 | 10 236 | 13 476 | 13 957 | 14 823 | 16 054 |
| 油耗:柴油(t) | 326.4 | 301.9 | 317.6 | 403.2 | 370.8 | 361.6 | 453.9 | 535.9 | 624.4 | 731.25 |
| 机油(t) | 11.4 | 34.6 | 7.5 | 9.9 | 6.3 | 9.8 | 12.0 | 14.0 | 15.8 | 17.20 |
| 全年停渡(h/次) | 18/3 | 46/8 | 72/12 | 7/3 | 7/2 | — | 5/3 | 11/4 | 7/3 | 10/3 |

表中空白系单据不详。

二、大桥的设计构思

(一) 水文地质调查

1. 水文

岳阳汽车渡口下游约 5km 七里山水文站于 1950 年建站, 至今已有 47 年实测资料, 多年平均水位为 22.628m(黄海高程系), 历年高水位(1)32.518m(1954.8.3), (2)33.278m(1996.7.22), 最大流量为: 57 900m³/s, 历史最低水位 15.238m。

2. 地质地貌

岳阳市位于洞庭湖东岸, 丘陵与平地间夹, 覆盖层厚约 10~13m, 下伏基岩; 西岸堤防外为一级阶地漫滩, 堤防内为冲积平原, 覆盖层厚约 25~30m, 下伏基岩为泥质、泥质砂岩, 岩性较软, 有中更新世中期至晚期的构造活动迹象。

(二) 方案

1. 桥位方案

洞庭湖汇聚了我省四大水系——湘、资、沅、澧(称南水), 全流域集水面积 25.88 万 km², 另外还有长江四口水系(称北水), 灌入湖中, 南北洪水往往同时相碰, 而出口仅城陵矶, 谓之进多出少, 因此防洪抗洪在洞庭湖区摆在十分重要的位置, 桥位的选择首先要考虑的问题是满足泄洪的要求, 再考虑城市的发展与交通的需要, 洞庭湖在岳阳市南津渡码头至城陵矶码头长约 12km 的范围内, 主槽顺直呈上宽下窄之势(10km~1.35km), 西岸漫滩广阔, 两岸均筑有堤防, 主槽沿东岸而行, 从城市的布局考虑, 桥位在 12km 范围内不宜太上和太下, 因此, 在预可阶段提了四个桥位作比较。

I 九龟山桥位: 在渡口上游 5.5km, 城市上游。

II 九华山桥位: 在渡口上游 0.43km, 城市中心。

III 北环路桥位: 在渡口下游 1.35km, 城市偏中。

IV 七里山桥位: 在渡口下游 4.6km, 城市下游。

九龟山桥位湖面宽阔, 常水面宽 4 500m 左右, 漫滩水位时桥长在 10km 左右, 且偏离城市较远, 从目前财政承受能力方面考虑, 优势不十分明显。

七里山桥位西岸已进入长江河套,因河势不太稳定,受洪水威胁,不宜建桥。

因此,我们对九华山和北环路进行了重点比选,列如表 3。

表 3

| 项 目 \ 桥 位 | (II)方案 九华山桥位 | | (III)方案 北环路桥位 | |
|--------------------------|---------------------------------------|--------|-----------------------------------------------|--------|
| | 河东 | 河西 | 河东 | 河西 |
| 拆迁工厂厂房 (m ³) | 25 100 | | | |
| 拆迁民房 (m ³) | | 15 000 | 900 | 13 000 |
| 征用地 (亩) | | 150 | | 180 |
| 砍伐芦苇 (亩) | | 130 | | 150 |
| 桥路总长 (km) | 10. 8 | | 10. 37 | |
| 测时最大水深 (m) | 18. 2 | | 17. 4 | |
| 测时主河槽水面宽 (m) | 1 290 | | 1 350 | |
| 两岸防洪大堤间宽度 (m) | 4 964 | | 5 257 | |
| 施工场地条件 | 河东九华山一带工厂密集,不便施工 | | 两岸地形平坦开阔,便于布置施工场地 | |
| 地 质 | 河东九华山一带小断层纵横交错,地质复杂 | | 河东区域未发现断层,其他地质条件两桥位相同 | |
| 需增加的工程 | 跨越东风湖,需增建一座长 830m 大桥 | | 已通车的东风湖桥今后需加宽 | |
| 与城市总体规划配合情况及拆迁征地难度 | 东引桥穿过工厂厂区,拆迁大片重要工厂厂房,难度极大,且与岳阳市总体规划不符 | | 东引桥所需拆迁的五栋民房及征用鱼塘均在市规划红线内、拆迁征用难度不大、桥位与市总体规划协调 | |

考虑到九华山方案弊多利少,我们推荐了北环路方案。由于洞庭湖在不同的洪水时期遭遇复杂,水流紊乱,桥位确定后桥中轴线的布置是否妥当对泄洪与通航有很大的影响。我们考虑使桥中轴线与不同洪水期的流向尽量正交,事实上很难做到,为此我们在不同的洪水时期实测了流向,若桥轴线与高洪水期完全正交,西岸引桥则进入长江河套。有关资料显示 21 年间长江河床在这一河段东南变迁幅度甚大,对建桥不利。因此,选择了与北环路夹角为 $\alpha = 14^{\circ}28'15''$ 的桥轴起点,之后与沿湖路正交,与常水位(23.52m)流向夹角 $\beta = 5^{\circ}28'47''$,与洪水位(30.26m)洪水流向 $\gamma = 2^{\circ}29'25''$ 的曲线桥轴。线形流畅,距长江有适当的安全距离,与洪水流向的夹角适度,对泄洪和通航影响不大。轴线布置见图 1。

2. 桥型方案

岳阳洞庭湖大桥,既要满足洞庭湖泄洪抗洪的要求,又要协调这座旅游城市的自然景观,长江水利委员会根据洞庭湖的特点,在岳阳洞庭湖大桥工程批复中要求主槽(1 400m)内尽量采用 300m 以上大跨度,因此,我们对桥型方案做了大量的比选工作。针对水面宽,桥梁长度大这一特点,考虑过采用悬索桥,终因西岸滩地基岩在 30m 以下,庞大的锚碇对于工程的投资影响较大而舍弃;拱桥具有中国古典建筑的美,且湖南具有修建拱桥的设计、施工经验,但拱桥受跨径的限制,且桥位处地质条件有限,大跨径拱桥桥墩对泄洪十分不利,不宜采用。连续梁跨径若接近 300m 时经过技术经济分析不宜采用。经过多种比较后,我们提出下列三种桥型方案进

图 1 桥型图
尺寸单位:cm

行了比较:

(1) 斜拉桥方案(图 1 中第一方案)

岳阳洞庭湖大桥修建斜拉桥如果要满足长江水利委员会的要求,单孔必须在 600m 以上,这在湖南有一定的困难,第一是资金,第二是工艺,因此,我院提出了三塔斜拉桥的设想。据初步了解,世界上大跨径(200m)以上的三塔或多塔斜拉桥也正在研究之中,现尚无工程实例,究其原因可能是工程现场没有必要修建多跨斜拉桥;多跨斜拉桥受力分析有待进一步研究。针对岳阳洞庭湖大桥的特点,我们认为工程现场最好采用三塔四跨斜拉桥,第一是现场地质条件较好,主墩位置水深在 20m 以内,覆盖层也在 20m 左右,基岩较完整;第二是斜拉桥主墩阻水面积不大,基本上能满足水利部门对泄洪的要求;第三是在满足水利部门要求的情况下,斜拉桥跨度适中(300m 左右),施工方便,且具有经济性。为此,我们经过反复讨论与研究后提出了主槽内三塔斜拉桥跨径组合的初步方案:10× 50m 预应力连续梁+ (130m+ 2× 310m+ 130m) 三塔斜拉桥+ 10× 50m 预应力连续梁。该项目一开始,从桥位选择,到桥型方案的确定,特别是对三塔斜拉桥的受力特点,我院向国内上百位有名专家、教授进行了咨询、请教,专家们认为我院提出的三塔斜拉桥的方案结构是可靠的,可以与其他桥型方案比较采用。

(2) 系杆拱配斜拉桥方案(图 1 中第二方案)

主槽内:10× 50m 预应力连续梁+ 3× 100m 系杆拱+ (140+ 300+ 140)m 斜拉桥+ 10× 50m 预应力连续梁。它的特点是既有现代气息的斜拉桥,又有古朴典雅的拱式体系,能将其融为一体,但桥墩过多,泄洪不利。

(3) 连续刚构方案(图 1 中第三方案)

主槽内跨径组合为:10× 50m 预应力连续梁+ (160+ 2× 280+ 160)m 连续刚构+ 10× 50m 预应力连续梁,再大跨径的连续刚构不但施工难度较大,而且工程造价不一定经济。

当提出上述三种桥型方案作比较时我院对三塔斜拉桥的跨径组合还作了多种研究,介于岳阳洞庭湖大桥建在洞庭湖入长江之洪道,对泄洪防洪有特殊要求,加之湖面宽阔,水流系乱,从适用、安全、美观的原则出发,按照主槽泄洪的特点,在主槽 1800m 范围内布置主跨和副跨是适当的,在 800~900m 范围内布置主跨是适当的。因此,我们提出了斜拉桥的四种跨径组合。

a) 110m+ 2× 330m+ 110m

b) 120m+ 2× 320m+ 120m

c) 130m+ 2× 310m+ 130m

d) 140m+ 2× 300m+ 140m

a)、b)两种方案设计为不等高塔,通过设计计算,中塔在受力和结构上相当于单孔 440m 和 400m 斜拉桥,为确保主梁和塔梁的受力合理,边孔要采取特殊措施,不但要增加工程造价,而且要延长施工工期,是不经济的。d)方案索塔采用等高和不等高都可以,等高因无变化看上去缺乏韵律。c)方案索塔可设计成等高或不等高,当为不等高时,索塔相当于单孔 360m 斜拉桥,中、边跨布置恰当,受力情况较好,工程量较省,施工难度也小,最后提出 c)方案与其他两种方案进行比较。东岸引桥因在防洪堤内则采用 20m 现浇连续梁,西岸滩地因长满芦苇,在不过分增加阻水面积的情况下,采用 30m 现浇连续梁,各种桥型组合经济技术比较如表 4、表 5。

各种桥型主要优缺点比较如表 6。

在洞庭湖口这个特殊地点建桥仅从工程的角度出发决定桥位和桥型方案还是不够的,为弄清楚建桥后对防洪的影响,我们还委托长江水利委员会进行了水工模型试验,经不同水文年

过程动床造床作用证明,建桥后桥址河段河床演变规律一致,河势无明显变化,桥址以上1.4 km 范围内,最大壅水高度为 3.1cm,其他区影响较小,河段和流速场等方面影响不大,不会因建桥而引起湖区防洪整体布置的改变。

各桥型方案技术指标比较表

表 4

| 项 目 | | 方 案 | 三塔斜拉桥方案 (第 I 方案) | 系杆拱配斜拉桥方案 (第 II 方案) | 连续刚构方案 (第 III 方案) |
|-------------------------------------------|------------------|---------------|---------------------|------------------------|----------------------|
| | | | | | |
| 桥长(m) | 总 长 | | 5 783.50 | 5 783.50 | 5 783.50 |
| | 主 桥 | | 5 303 | 5 303 | 5 303 |
| | 引 桥 | | 480.50 | 480.50 | 480.50 |
| 主桥纵坡(%) | | | | | |
| 主桥竖曲线半径(m) | | | 15 000 | 15 000 | 15 000 |
| 桥梁最高点(m) | | | 51.48 | 52.98 | 54.44 |
| 工 程 数 量 (m ³) | 主 桥 | 上部构造 | 53 893 | 60 564 | 713 72 |
| | | 下部构造 | 36 845 | 27 200 | 41 271 |
| | | 基 础 | 44 407 | 42 276 | 41 852 |
| | 引 桥 | 上部构造 | 3 880 | 3 880 | 3 880 |
| | | 下部构造 | 1 793 | 1 793 | 1 793 |
| | | 基 础 | 2 457 | 2 457 | 2 457 |
| | 桥 面 系 | | 8 793 | 8 793 | 8 793 |
| | 合 计 | | 152 068 | 146 963 | 171 418 |
| | 主 要 材 料 | 钢 材 (t) | 预应力钢材 | 4 791 | 4 682 |
| 普通钢材 | | | 16 439 | 20 816 | 19 329 |
| 合 计 | | | 21 230 | 25 498 | 23 761 |
| 水 泥 (t) | | 84 703 | 78 885 | 93 825 | |
| 木 材 (m ³) | | 4 289 | 3 971 | 4 510 | |
| 劳 动 工 日 | | 2 661 183 | 2 332 908 | 2 659 265 | |
| 造 价 (元) | 总 造 价 | | 542 957 115 | 536 534 639 | 554 128 800 |
| | 每延米造价 | | 93 880 | 92 770 | 95 812 |
| | 每平方米造价 | | 4 694 | 4 638 | 4 791 |
| | 比 较 | | 1 | 0.988 | 1.021 |

各桥型技术经济指标比较表

表 5

| 项 目 | | 引 桥 | | 主 桥 | | | | | | | |
|----------------------|--------|-------------------|------------------|------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------|--------------------|------------------|------------------|--------------------|------------------|
| | | 东引桥 | 东岸副孔 | 主 孔 | | | 西 岸 副 孔 | | 西 岸 河 滩 副 孔 | | |
| | | (2× 20m) 现浇连续梁 | (10× 50m) 顶推梁 | (130+ 2× 310+ 130m) 三塔斜拉桥 | (2× 100m + 140+ 300 + 140m) 系杆拱配斜拉桥 | (160+ 2× 280+ 160m) 连续刚构 | (10× 50m) 现浇连续梁 | (10× 50m) T 梁 | (11× 30m) T 梁 | (11× 30m) 现浇连续梁 | (11× 30m) 空心板 |
| 工程量(m ³) | 上部结构 | 3 880 | 6 540 | 14 092 | 18 006 | 24 640 | 5 718 | 4 898 | 28 363 | 30 300 | 34 474 |
| | 下部结构 | 1 793 | 1 721 | 1880 | 12 937 | 23 764 | 1 771 | 2 208 | 14 116 | 10 771 | 14 015 |
| | 基 础 | 2 457 | 2 130 | 11 389 | 8 286 | 8 862 | 3 280 | 3 308 | 27 580 | 27 580 | 27 580 |
| | 合 计 | 8 130 | 10 391 | 44 281 | 40 229 | 57 266 | 10 769 | 10 414 | 70 059 | 68 651 | 76 069 |
| 钢材(t) | 高强钢材 | 144 | 518 | 2 464 | 1 844 | 2 022 | 467 | 331 | 1 334 | 1 710 | 1 281 |
| | 普通钢材 | 999 | 1 395 | 6 458 | 7 281 | 7 391 | 1 436 | 1 157 | 6 430 | 9 706 | 8 108 |
| | 合 计 | 1 143 | 1 913 | 8 922 | 9 125 | 9 413 | 1 903 | 1 488 | 7 764 | 11 416 | 9 389 |
| 直接费和间接费 (元) | 总费用 | 14 927 559 | 28 980 580 | 141 214 439 | 133 044 582 | 147 830 795 | 23 514 986 | 22 453 414 | 130 078 089 | 134 442 566 | 131 530 706 |
| | 每延米费用 | 31 067 | 57 961 | 160 471 | 151 187 | 167 990 | 47 080 | 44 907 | 38 085 | 39 311 | 38 459 |
| | 每平方米费用 | 1 553 | 2 898 | 8 024 | 7 559 | 8 400 | 2 352 | 2 245 | 1 902 | 1 966 | 1 923 |
| | 比 较 | | | 1 | 0.94 | 1.05 | 1 | 1.05 | 1 | 1.04 | 1.01 |

各桥型主要优缺点比较表

表 6

| 方案 项目 | 三塔斜拉桥方案 (第 I 方案) | 系杆拱配斜拉桥方案 (第 II 方案) | 连续刚构方案 (第 III 方案) |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 经济性 | 造价适中 | 造价较省,比方案 I 少 642 万元,占 1.18% | 造价较高,比方案 I 多 1117 万元,占 2.06% |
| 适用性 | 1. 两孔 310m 主跨跨越主航道,与航道适应性好,通航净空大;防撞要求低; 2. 河床压缩少,有利汛期泄洪; 3. 西岸副孔 30m 简支 T 梁伸缩缝多,桥面连续易开裂 | 1. 主桥大跨少,对通航较不利,桥墩防撞要求较高; 2. 河床压缩较多,对汛期泄洪较不利; 3. 西岸副孔 30m 连续梁,伸缩缝较少 | 1. 两孔 280m 跨径连续刚构跨越主航道,与航道适应性好。通航净空大,防撞要求低; 2. 河床压缩多,汛期泄洪能力较差; 3. 西岸副孔 30m 空心板,伸缩缝多,桥面连续易开裂 |
| 安全性 | 1. 主桥跨度适中,板梁式结构施工方便,工期较短; 2. 西岸副孔采用预制 T 梁,可工厂化预制施工,质量可靠,工期有保障,但需大型预制场和吊装设备; 3. 主桥后期营运养护费用较高; 4. 行车较平衡 | 1. 主体采用箱梁断面,刚度大施工安全; 2. 西岸副孔采用移动支架现浇施工条件差,工期制约因素多并需要多套设备方能保证工期; 3. 主桥后期营运养护费用较高; 4. 行车平顺舒适 | 1. 主跨 280m 连续刚构为当前世界最大跨度,施工难度大,工期较长; 2. 西岸副孔采用预制空板,可工厂化预制施工,质量可靠,工期有保障。但需要预制场与吊装设备; 3. 主桥后期营运养护费用少; 4. 行车平顺舒适 |
| 美观性 | 桥型美观,气势宏伟,与周围环境协调好 | 高耸的桥塔与低矮的拱圈,大跨梁桥与小跨拱桥反差明显,配合不协调,桥型欠美观 | 主桥线条简洁明快,但因其高跨比例不很协调,影响桥型美观 |

由于岳阳市为湖南省地震较为活跃的区域,我们还进行了地震安全性评估,包括地震地质考察,断层及活动性调查测试,水上浅剖面仪探测,浅层地震勘探,土层剪切波和地面脉动测量,在室内进行了地震危险性概率分析和土层地震反应计算等工作,证明桥位区无明显的一定规模的断裂通过,基岩完整性较好,倾角近直立,裂隙不大发育,无明显的活跃性断裂通过,稳定性较好。场地地面脉动测试东岸地面脉动卓越周期为 $0.16s \sim 0.36s$,西岸地面脉动卓越周期为 $0.40s \sim 0.64s$,地场基岩水平加速度100年超越概率10%及3%的基岩水平加速度峰值分别为 $0.97gal$ 和 $162.0gal$ 。上述两个试验为洞庭湖大桥桥位桥型的确定及动力分析提出可靠的数据。

综上所述,三塔斜拉桥方案在国内首创,桥型新颖美观,气势磅礴,高低错落的三塔高耸在烟波浩渺的洞庭湖上,与景色秀丽的君山遥相呼应,景观效果较好,三塔四孔斜拉桥布置在主槽内,桥墩数量不多,河床压缩率低,有利于泄洪,能满足水利部门对建桥的要求,故决定采用三塔斜拉桥方案。

三、景观考虑

岳阳洞庭湖大桥因建在岳阳楼之畔,湖心又有风景迷人的君山岛,成片的芦苇掩映在湖水之中,湖面沙鸥翔集,镜影成碧,周围环境呈现一派大自然的美。大桥的修建如何处理好人工结构与自然环境的调和,使其能融为一体,我们在选择桥位、桥型上进行了认真的考虑。

1. 桥位选在北环路,上距君山 $5.0km$ 左右,无论是在桥上还是在君山,相互依稀可见,岛上的青山、山上的绿树与水中的桥梁构成一幅韵律犹然的图画。

2. 根据地形条件与水利要求的特点,我们在平面上没有采用一条长直线穿越湖心呆板的做法,而是将桥的中轴布置成曲线,主桥的立面也处在竖曲线半径 $R = 35\ 000m$ 的圆弧曲线上,在桥的三维空间任何一个视点,都显示了桥的曲线美,横跨宽阔的湖面,与岳阳楼和君山交相辉映,体现了动静结合,富有韵律。

3. 三索塔,中塔高,边塔低,错落有致,粗壮伟岸,俨然彪形大汉,充满阳刚之气;一百一十对斜索,偎依在塔的两旁,纤细牵拉,流露阴柔之美;主梁薄,跨度大,水平线条突出,简洁明快。夏秋高空的蓝天白云,湖面碧波荡漾,衬托出一幅壮观而优雅的景象;冬春之时,若浊浪排空,亭亭玉立的三个塔体,将显得稳重而庄严,给在长江和洞庭湖的航行者示以明显的目标,鼓起足够的勇气去征服自然、战胜自然。

4. 为了提高结构的整体刚度,在索的布置上减小了背索的索距,增大了背索的截面积,使之斜拉索的整体布置上达到了同中有异,局部强化的美学效果,使三个塔的斜拉索外形轮廓粗壮,显示了斜拉桥的现代美、力度美。

5. 东岸引桥地处繁华市区,选用22孔横向大悬臂的 $20m$ 预应力混凝土连续梁,采用无盖梁的桥墩,挺拔秀丽,与市区环境协调统一。

6. 为了减小边墩支座负反力,采取增加压重,在边墩梁端加设了观景台,使劳动后小憩的人们能观赏到落日霞晖,水天一色的自然美色,也可体察到人们征服自然使天堑变通途的伟大壮举。

岳阳洞庭湖大桥的设计构思实际上是集体智慧的结晶,从大桥的立项到动工兴建,部省各级领导都作过重要指示,对于工程的本身,国内很多专家学者都倾注了不少心血,在此,我们一并致谢。

岳阳洞庭湖大桥设计

胡建华 李迪清 廖建宏 周宏林

湖南省交通规划勘察设计院

提 要 介绍岳阳洞庭湖大桥桥型总体设计,包括自然条件、桥型选择、桥型方案、科学研究、结构设计、结构计算及施工要点。

一、概 述

岳阳洞庭湖大桥是岳阳市跨越洞庭湖口的一座特大型桥梁。大桥总长 5 747.82m,其中正桥长 1 880m,副孔桥长 3 420m,引桥长 440m,总投资约 5.5 亿元人民币。

大桥桥面宽度 20m,按四车道布置。荷载等级为汽车-超 20 级,挂车-120,设计车速 60km/h。

二、桥位自然条件

1. 地形地物

大桥位于洞庭湖口,桥址河床断面形态属宽滩型复式断面,两岸筑有防洪堤,两堤相距约 5100m,其中主槽紧靠东岸岳阳市区,宽约 1400m;西岸一级阶地为芦苇滩地,宽约 3500m,每年汛期均被淹没。

2. 地质

桥位区均被第四系地层覆盖,主要由亚粘土,粉、细砂组成。东岸区厚约 10~13m;主河槽区厚约 4.5~7m;而西岸滩地厚为 25~30m;下伏基岩为泥质、砂质板岩,其岩性较软,风化深度较大,微风化板岩单轴极限抗压强度为 6~15MPa。

3. 地震

岳阳市是湖南省地震较为活跃的地区。按地震区划属 VII 度区。鉴于该工程的重要性,特编制了《工程场地地震安全性评价报告》,结果显示,场区建筑场地类别为 II 类,东岸地面脉周期为 0.16~0.36s;西岸为 0.40~0.64s;场地基岩 100 年超越概率 10% 及 3% 的基岩水平加速度峰值分别为 97.7gal 和 162.0gal。本场的地震烈度复校为 7 度。

4. 气象

桥位区属亚热带季风湿润型气候,气候温和、雨量充沛。年平均气温 17.0℃,极端最高气温 39.3℃,极端最低气温-11.8℃。风况从风玫瑰图显示,主导风向为 NNE;年平均风速 2.9 m/s,基本风压为 500Pa;历史最大风速为 28m/s,风向为 W。

5. 水文

桥址位于洞庭湖入长江洪道段内,洪水来源众多,情况复杂,顶托倒灌严重,水流紊乱。经历史洪痕的调查与测记,桥址常水位 22.628m(黄海),历史最高水位 33.278m,历史最低水位 15.238m;由水文分析计算知,设计水位 34.12m,设计流量 49600m³/s,设计流速 1m/s,通航水

位 32.21m。

《岳阳洞庭湖大桥对防洪及河势影响综合分析报告》表明:建桥后桥址河段内断面流速分布、河床冲淤规律基本不变,主流位置基本稳定,正桥区域桥轴线法线方向与水流流向的夹角为 $4^{\circ}\sim 6^{\circ}$ 。桥址河段河势基本稳定,建桥后桥址上游一定范围内水位有所壅高,最大值约3.6cm,尚不致于影响洞庭湖区防洪总体格局。

三、结构设计

1. 桥型布置

桥位处于湘、资、沅、澧四水和长江四口水流出洞庭湖入长江的咽喉地段,防洪考虑尤为重要。长江水利委员会的批复要求在主河槽内应考虑布置300m左右主孔,副孔尽量采用大跨度;同时桥位紧靠旅游胜地岳阳楼和君山风景区,景观要求甚高。综合考虑桥位处自然条件、防洪要求、桥型美观、技术先进等因素,选择了经济指标较好,桥型新颖美观的三塔斜拉桥、系杆拱配斜拉桥和连续刚构三个方案作为初步设计最终比较方案。初设评审委员会认为:三塔大跨度斜拉桥在国内首次采用,桥型新颖美观,气势宏伟,技术先进,宝石形索塔造形别致,高高耸立在烟波浩渺的洞庭湖上,与君山岛、岳阳楼遥相呼应,相映生辉,景观效果好;在桥跨方面以 $2\times 310\text{m}$ 主孔跨越主航道,河床压缩少,壅水值小,有利于汛期泄洪;且两主孔通航能减少以致消除船舶撞击;在经济、适用、安全、美观方面有明显优势。最后省建委批复三塔斜拉桥方案作为施工图设计方案。

桥型总体布置为:($2\times 20\text{m}$)预应力混凝土现浇连续箱梁+($10\times 50\text{m}$)预应力混凝土顶推连续梁+($130\text{m}+ 2\times 310\text{m}+ 130\text{m}$)三塔预应力混凝土双索面斜拉桥+($10\times 50\text{m}$)预应力混凝土现浇连续梁+($114\times 30\text{m}$)预应力混凝土现浇连续梁。桥梁总长5747.82m,其中主桥长5300m。桥型总体布置见图1。

2. 结构设计

主桥主孔为不等高三塔预应力混凝土斜拉桥,双斜索面,纵向漂浮体系,并在索塔及锚固墩处设有抗震限位装置。

索塔均采用宝石形,中间设一道横梁。中塔高于桥面100m,高出承台顶面125.68m,边塔高于桥面75m,高出承台顶面99.31m。塔身及横梁均采用50号预应力混凝土空心截面,塔身锚固壁厚120cm,其余均为80cm。中塔顺桥向塔身段宽6.6m,塔腿渐变至根部宽9.0m;传力锚固直柱高37m,边塔顺桥向塔身段宽6.0m,塔腿渐变至根部宽8.0m,传力锚固直柱高25m。为便于锚座精确定位及方便施工,防止受拉后锚下及塔壁混凝土开裂,索塔传力锚段设置可兼作施工内模的10mm厚钢板护壁,并与锚垫板焊成整体。

主梁采用整体肋板式断面,全宽23.40m。两主肋宽170m,高250cm,板厚32cm。主梁采用50号预应力混凝土整体悬浇,每8m一个节段。边跨端部及中跨中部浇筑成实体段兼作压重。

双斜面索呈扇形布置,塔上标准索距1.20m,梁上标准索距8m。中塔每边各22对索,边塔每边各16对索,全桥共111对索。边塔最外索索长145.6m,倾角 29.9° ;最内索长49.9m,倾角 77.9° ;中塔最外索长199.6m,倾角 29.5° ;最内索长65.8m,倾角 80.9° ;拉索拟采用国产7mm低松弛镀锌高强钢丝,标准强度1860MPa,斜拉索采用热挤PE套管防护,冷铸镦头锚。斜拉索共分五种规格,分别为313 7mm、211 7mm、187 7mm、151 7mm和131 7mm。

主墩索塔承台为40号钢筋混凝土整体式结构,长31.50m,宽16.20m,高6.0m,并设分水