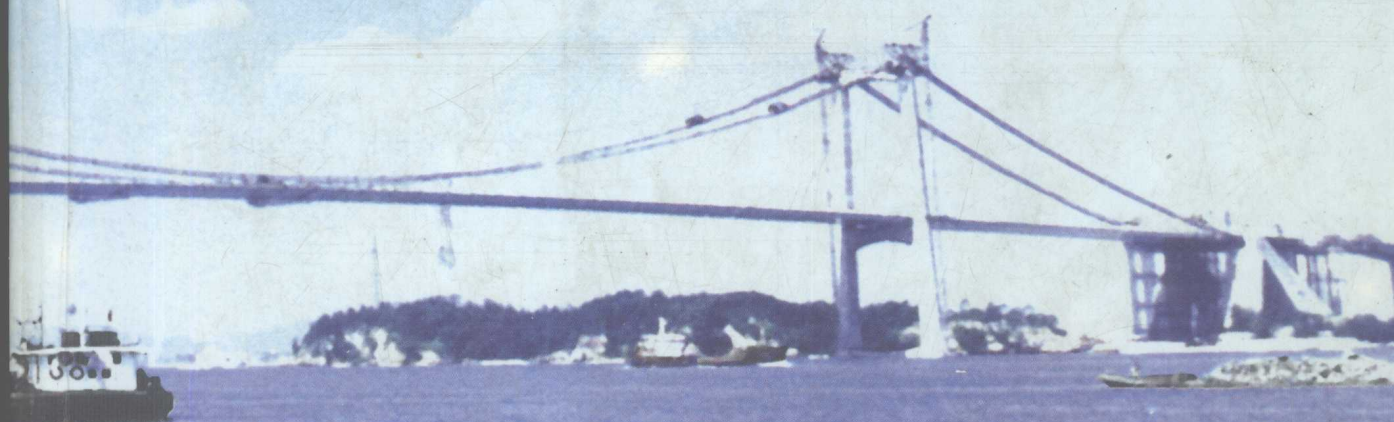


中国公路学会桥梁和结构工程学会
一九九九年桥梁学术讨论会

论文集



人民交通出版社

中国公路学会桥梁和结构工程学会

一九九九年桥梁学术讨论会

论 文 集

中国公路学会桥梁和结构工程学会
厦门路桥股份有限公司
福建省交通规划设计院

人民交通出版社

内 容 提 要

该文集由 1999 年桥梁学术讨论会征集的论文中精选 150 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。

图书在版编目(CIP)数据

中国公路学会桥梁和结构工程学会一九九九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一九九九年桥梁学术讨论会论文集》编委会编. - 北京:人民交通出版社,1999

ISBN 7-114-03550-0

I. 中… II. 中… III. 公路桥 - 桥梁工程 - 学术会议 - 中国 - 文集 IV. U448.14 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 70902 号

中国公路学会桥梁和结构工程学会 一九九九年桥梁学术讨论会论文集

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

新世纪印刷厂印刷

开本:787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张:53.75 字数:1358 千

2000 年 1 月 第 1 版

2000 年 1 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001 - 2300 册 定价:100.00 元

ISBN 7-114-03550-0

U·02554

中国公路学会桥梁和结构工程学会

一九九九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 严文彪 杨尚海 张征宇

张喜刚 孟凡超 潘世建 彭宝华 曾宪武

前言

中国公路学会桥梁和结构工程学会与厦门路桥股份有限公司, 1999 年 12 月在厦门市联合召开桥梁学术讨论会, 中心议题是总结我国建国 50 年来桥梁建设的经验, 讨论 21 世纪桥梁发展趋势与努力方向, 以促进桥梁设计、施工、科研和管理的进一步提高。

建国初期, 我国公路桥梁建筑水平与工业发达国家有较大差距。随着交通运输迅速发展, 80 年代以来, 桥梁建设突飞猛进, 大跨径悬索桥原为空白, 1997 年广东虎门桥建成后, 江阴长江大桥于 1999 年相继完成, 跨径 1385m, 居世界第四位。斜拉桥跨径在 400m 以上者, 我国有 11 座之多。其中重庆长江二桥, 跨径 444m, 是预应力混凝土梁。南京长江二桥, 跨径 628m, 是钢箱梁。上海杨浦桥, 跨径 602m, 是钢与混凝土结合梁。大跨径预应力混凝土梁桥, 1967 年用悬臂施工法建成了主跨 124mT 型刚构柳州桥。其后建造多座连续梁和连续刚构桥, 如广东虎门辅航道桥, 主跨 270m, 是当时世界跨径最大的预应力混凝土连续刚构桥。拱桥在我国历史悠久, 隋代建造的赵州桥, 闻名于世。湖南鸟巢桥, 跨径 120m, 是世界最大跨径的石拱桥。万县长江大桥, 主跨 420m, 以钢管混凝土做成劲性骨架, 浇筑混凝土箱型拱, 是当今世界跨径最大的钢筋混凝土拱桥。贵州江界河桥, 主跨 330m, 是预应力混凝土梁与混凝土拱组合体系, 采用悬臂施工法, 技术先进, 造价较省, 开创了大跨径拱桥建筑新途径。钢桥在公路上所建不多, 但制作与安装技术达到先进水平。如四川渡口 2 号桥为钢箱拱桥, 3 号桥为钢桁拱桥, 跨径均为 180m, 采用高强钢栓焊结构。悬索桥加劲桁, 采用全焊扁平钢箱梁, 桥面为正交翼性板。50 年来我国桥梁界艰苦奋斗、独立自主、总结经验、吸收他国之长、不断创新, 使桥梁建筑进入世界先进行列。

21 世纪前 15 年, 我国公路将全部建成国道主干线和公路主枢纽系统。全国高速公路达到 4.5 万公里, 公路总里程达到 180 万公里。沿海主干线拟建 5 个跨海工程, 如渤海湾、杭州湾、琼州海峡等, 工程规模宏伟。干线上的中等跨径桥梁众多, 投资巨大。为完成新世纪桥梁建设艰巨的任务, 我们需要研究以下课题: (1) 桥梁的结构型式和超大跨径桥梁的力学性能; (2) 深水基础的结构型式与施工工艺; (3) 轻质、高强材料的应用与提高工程质量; (4) 抗风与抗震科学试验和有效措施; (5) 施工工艺改进和建立科学的管理系统; (6) 工程控制, 包括施工监控与营运监控。在新形势下, 我国桥梁界刻苦奋斗, 发扬自立与创新精神, 必能完成新世纪伟大、光荣的任务。

会议共收到论文 150 篇, 主要总结近年来桥梁设计、施工、科研、管理经验和创新成果, 也有论及新世纪桥梁发展趋势, 集思广益, 可资交流应用。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

1999 年 8 月

目 录

I 规划与设计

我国公路桥梁建设的回顾与展望	王展意 (1)
中国大跨径公路桥梁的技术发展特征与趋势	曾 威 (4)
大跨径桥梁桥型比较	戴 竞 (13)
厦门海沧大桥悬索桥主缆设计	吴伟胜 王仁贵 (20)
厦门海沧大桥锚碇设计	周山水 刘明虎 唐小萍 (24)
海沧大桥锚碇无索区梁段架设方案及钢支架设计	谢云举 薛光雄 揣国新 (33)
江阴长江大桥建设中的重大技术问题	周世忠 (37)
我国公路桥梁的发展趋势	彭宝华 (43)
湖北省在建五座长江公路大桥简介	经德良 (49)
南京长江第二大桥北汊大桥设计	胡明义 刘士林 (57)
南京长江第二大桥北汊大桥主桥基础设计与施工	金 明 王兴达 (63)
江阴长江公路大桥缆索系统设计反思	林长川 (69)
ISO9000 质量体系在江阴大桥建设管理中的尝试	周世忠 吉 林 彭晔丹 (75)
泸州长江二桥主桥设计	庄卫林 (80)
√铜陵长江公路大桥主桥设计	杨高中 李毅谦 杨征宇 吴洪峰 周军生 (84)
国内外大跨径预应力混凝土连续刚构桥的现状和发展趋势	周军生 楼庄鸿 (96)
福建桥梁介绍	陈 阵 黄文机 (107)
√我国长大桥梁技术发展展望	胡明义 (112)
宜昌长江公路大桥工程设计	姜友生 (116)
武汉军山长江公路大桥与 BOT	李雄晖 (122)
厦门海沧大桥加劲钢箱梁梁段装船固定技术方案设计	钟生长 王敬华 杨宏刚 胡国芳 (126)
武汉军山大桥主 5 号墩钻孔桩钢护筒定位架设计	王 君 欧阳效勇 张先武 吴正安 (132)
武汉军山长江大桥主 5 号墩钻孔施工平台设计	吴正安* 任回兴 刁集炎 张建军 (138)
武汉白沙洲大桥 GL365 型挂篮设计	刁集炎* 欧阳效勇 李 海 张先武 (142)
锡澄高速公路无锡互通钢箱梁桥面铺装及排水设计	李 浩 孙大松 (146)
介绍吉姆辛的未来长大桥梁概念	金增洪 (150)
西藏桥梁的发展与展望	陈维宾 (159)
东莞市南阁大桥主跨装配式斜拉桥设计	梁立农 吴恩彻 戴耀中 (164)

连云港——徐州高速公路京杭运河特大桥设计	倪顺龙	(169)
桥梁景观与周边环境的协调设计	戚兆臣 沈伟	(174)
荆沙长江公路大桥工程设计和特点	詹建辉	(177)
活载作用下简支梁体外预应力内力增量的简化计算	姜廷会	(183)
广西六景郁江大桥——钢管混凝土中承式拱桥设计	蔡清香 冯鹏铨 杨耀铨 李莉	易蓓 (188)
√斜拉桥边跨的结构设计	韩大建	马文田 (195)
武汉市江汉五桥的设计	唐黎明 鲁应慧 刘新痴 孙勇	郭小川 (199)
关于弯桥直做与弯桥折做的探讨	张新来	(205)

II 施工与控制技术

海沧大桥西航道桥设计与施工	王学斌	黄和宾	(211)
厦门海沧大桥主缆架设施工	侯金龙 卢冠楠 沈良成 颜军	袁晓聪	(215)
厦门海沧大桥悬索桥上部结构线形施工监控	薛光雄 沈锐利	鲜正洪	先正权 (223)
海沧大桥钢箱梁吊装施工方案	薛光雄 揣国新	李鹏	赵满松 (229)
厦门海沧大桥西航道桥大直径长桩施工介绍	刘俊生 弋安	胡南	吴存全 (239)
厦门海沧大桥西航道桥主墩承台施工	张庆辉 刘俊生	胡南	吴存全 (245)
厦门海沧大桥主缆束股制作	金平	李刚	(252)
√厦门海沧大桥东航道悬索主桥牵引索及猫道架设工程	杨思民 蒋德林 李德钦	刘炜	(257)
海沧大桥主、散索鞍吊装	蒋德林 沈良成 揣国新	李鹏	武启诚 (265)
江阴长江公路大桥机电工程计算机集控网络系统	游庆仲	韩惠婷	(270)
江阴长江公路大桥地基基础安全监测系统		冯兆祥	(277)
南京二桥组合箱梁的设计与施工		魏广胜	(282)
南京长江二桥北汊大桥 22 号 (23 号) 主桥墩基础承台			
单壁钢吊箱围堰设计与施工		杨世全	(290)
厦门海沧大桥钢桥面铺装技术方案	韩道均 陈仕周 吴光蓉	李海鹰	(298)
江阴大桥主缆索股制作及质量控制	周世忠 陈申奇	叶觉明	王钦堂 (304)
江阴大桥主缆施工	王峻	杨宁	吉林 (312)
江阴大桥钢箱梁的装配和吊装	周建林	朱文白	钟建驰 (318)
江阴长江公路大桥钢箱梁防腐与涂装	朱文白 周建林	王敬民	(324)
江阴大桥吊索制作	陈申奇	钟建驰	叶觉明 (332)
汕头海湾大桥桥面铺装的处治	唐智伦 陈仕周	张兰军	(340)
大跨径梁桥预应力束的配置	杨征宇 李强	周军生	宋桂峰 (344)
厦门海沧大桥东引桥 10 跨连续梁 DZ-42m1000t 型造桥			
机设计与施工	李松 张宏伟 雷志超	肖向荣	(349)
重庆黄花园嘉陵江大桥施工控制	顾安邦 常英	乐云祥	(354)
荆州长江公路大桥钻孔灌注桩成孔质量检测	胡小庄 陈吉明	经柏林	曹传林 (360)
汕头岩石大桥钢桥面铺装方案及实施	曾勇 张华	陈仕周	(364)

汕头岩石大桥主桥钢梁施工	应国耀	苏洪雯	(369)
武汉军山长江公路大桥 5 号主墩钢围堰施工 ... 张建军 欧阳效勇 任回兴		杨晓妮	(376)
武汉白沙洲长江大桥主塔施工		唐兴国	(381)
✓ 悬索桥锚碇大体积混凝土裂缝的控制与处治	王 忠	蔡小稚	(385)
福州闽江四桥主桥主体结构施工		林鸿铿	(393)
现代斜拉桥的施工控制综述	杨 琪	李 乔	(399)
武汉军山长江公路大桥主 5 号、6 号墩钢围堰下沉及封底施工	傅益宏	游 峰	(404)
厦门海沧大桥索夹制造	汤 敏 杨建军	邹志峰	(410)
厦门海沧大桥主散索鞍制造	汤 敏 杨建军 骆 银	贺小兵	(414)
厦门海沧大桥加劲钢箱梁梁段制造技术	钟生长 周立明 胡国芳	王敬华	(420)
宽幅空心板先张法施工的关键技术问题		胡艳明	(426)
人工制冻结施工技术技术在桥梁桩基工程中的应用	赵时运 周兴荣	王宗金	(429)
邳州斜拉桁架梁桥空间分析	肖 泉	邹晓光	(436)
特大桥上汽车撞击电杆后对桥梁结构的影响	朱秉忠	卢 波	(441)
✓ 武汉白沙洲大桥 2 号主墩承台大体积混凝土配合比设计			
及温度控制技术	欧阳效勇 任回兴	李大强	(444)
湖口大桥东塔桩基冻结法施工技术介绍			
..... 霍建平 颜长春 李新形 王俊杰		刘昌汉	(449)
三岸邕江大桥施工技术		黄香健	(457)
横县六景大桥施工简介	黄星海	陈光辉	(461)
应用碗扣式脚手架进行现浇连续梁施工工艺	李华伟	郭志明	(466)
逐孔现浇预应力混凝土连续箱梁施工方法的探讨	郭 亮 蔡小稚	王 忠	(469)
水下深层控爆技术在深水基础施工中的应用	黄靖宇	苏洪雯	(475)
汕头岩石大桥主桥边锚跨施工	王 政	应国耀	(479)
除湿防腐系统技术在虎门大桥中的应用		田碧峰	(485)
宜昌长江公路大桥北锚碇施工	谢辉明 银 剑	高德贵	(489)
大直径预应力空心桩的施工与承载力计算		张书廷	(500)
武汉市江汉四桥主桥斜拉桥施工过程控制	刘玉兰	贺亚林	(503)
索拱支架在拱桥施工中的应用	冯泉钧 白植钦	苏松源	(508)
大跨径预应力连续刚构桥施工控制的理论和方法	顾安邦 常 英	乐云祥	(513)
PWS 法主缆架设施工中常见问题的处理	吴清发	张文忠	(520)
钢桥面的除锈及防护——香港青马大桥、汕头岩石大桥		劳健生	(525)
悬索桥施工控制分析的恒定无应力索长迭代法	向中富 徐君兰	戴正宏	(526)

III 结构分析及试验研究

海沧大桥主缆缠丝拉力分析		方明山	(533)
超大跨度桥梁在静风荷载下的动力特性研究	宋 馨 肖汝诚	项海帆	(537)
✓ 梁拱组合桥柔性吊杆张拉力的确定及分析	叶建龙 孙建渊	石 洞	(541)
海沧大桥索力测试	卢 伟 蒋永林	强士中	(547)

无风撑下承式系杆拱桥弹塑性稳定分析的折减弹性模量法	刘效尧	(551)
伶仃洋三大航道桥桥型方案探讨 (一) 伶仃西桥	王伯惠	(555)
伶仃洋三大航道桥桥型方案探讨 (二) 伶仃东桥	王伯惠	(565)
九江鄱阳湖口大桥索塔节段的空间分析研究	王锋君 项贻强 周 州	(577)
九畹溪大桥动载实验及动力分析	经柏林	胡小庄 (583)
桥梁颤振稳定性研究的数值风洞	陈艾荣 曹丰产	项海帆 (588)
有关桥跨结构技术鉴定的几点思考	钱寅泉	倪元增 (593)
超静定结构体系中预加应力引起的次内力分析	吉中仁	(596)
预应力混凝土顶推连续梁桥中主梁与导梁优化设计研究	许振宇 周先雁	(603)
荆沙长江公路大桥主桥抗风研究——北汉 500mPC 斜拉桥		
全桥气弹模型风洞试验研究	吴晓琰 宋锦忠	(606)
桥梁三维造型构件参数的研究		
..... 吕建鸣 杨 昀 李 新 张雪峰 邢贵岩 王福建		(612)
万县长江大桥混凝土时效分析及观测	顾安邦 刘 忠	周水兴 (617)
大跨缆索承重桥梁的结构阻尼特性	郭震山 陈艾荣	项海帆 (624)
青洲闽江大桥的抖振分析及风载内力计算	哈 鸿 宋锦忠	张 锋 (630)
青洲闽江大桥抗震性能研究	林道锦 叶爱君	胡世德 (635)
遗传算法在斜拉桥索塔可靠性分析中的应用	张建仁 刘 扬	(641)
江阴大桥吊索组件动、静载强度性能试验研究	钟建驰 叶觉明	王钦堂 (646)
轻轨高架桥抗震分析	张俊杰	胡世德 (653)
海沧大桥钢箱梁运输分析	方明山	(658)
√ 钢管混凝土拱桁架架设斜拉扣挂索力仿真计算研究		
..... 周水兴 顾安邦 李 炎 乔臻璐		(664)
斜拉索下锚头防腐研究	黄 勇 李敬明 崔文祥	汪克来 (668)
钢桥面铺装的受力特性和有限元分析	方 萍	伍 波 (673)
虎门悬索桥竣工验收静力荷载试验与评价	张劲泉	花迎春 (678)
关于钢桥面铺装技术的研究与发展	陈仕周 梁 超	陈晓坚 (683)
上下夹层钢纤维沥青混合料公路路面应用技术 ... 孙学高 徐显才 陈火生		肖明星 (689)
吊拉组合桥结构体系研究与决策	蒙 云	孙淑红 (691)
√ 几种吊拉组合体系主梁结构性能计算分析	孙淑红 蒙 云	(697)
高效部分预应力混凝土空心板梁桥的设计研究	项贻强	(705)
九畹溪大桥静载试验及理论分析	经柏林	曹传林 (710)
运用面向对象的 Visual C++ 开发纯 Win32 桥梁软件	杨 琪	李 乔 (716)
桥梁结构实时响应在线监测的简化分析方法	王家林 肖盛燮 吴国松	曾德荣 (720)
预应力混凝土梁拱组合桥受力分析	蒋彦征	李国平 (725)
石拱桥施工仿真模拟分析	胡崇武	周 卫 (729)
薄壁墩台裂缝研究		牛铁汉 (736)
钻孔灌注桩极限承载力的可靠性分析	赵春风 严文彪	高大钊 (749)
合徐高速公路涂山淮河大桥抗震分析		
..... 刘 荣 程跃辉 胡 可 王秀喜 梁海弋 冯传玉		(754)

考虑桩侧土体弹性抗力与摩阻力时长摩擦桩的计算长度	韦成龙	刘小燕	(761)
悬索桥大缆线形施工控制测量的方法和精度分析	谢远光		(766)
悬索桥主缆索股架设中的相关问题及对钢丝和索股制造的建议	吴先树		(769)
斜拉桥柔性拉索力学状态与相似算法	李传习		(774)
桥梁三维造型软件用户界面的研制	李 新		(782)
Windows 环境下桥梁下部综合程序的开发	杨 昀		(787)
斜拉桥主梁端部轴向位移的研究	蔡 健	蔡 敏	(791)
大跨径混凝土斜拉桥动力特性和地震时程响应分析			
.....	贺学锋	许晓锋	唐光武
			黄福伟 (794)
钢桥面铺装防水粘接层方案设计与试验研究	张兰军		(801)
湿热地区沥青混凝土桥面铺装推荐结构			
.....	石国彬	孙长新	苏权科
			吴清发
			刘朝军 (808)
中小跨径斜腿刚构式桥的性能、特点、适用性和造型探讨	赖 霞		(812)
关于嵌岩桩设计的讨论	宋桂峰	张朝菊	杨高中
			(817)
徐变自动增量分析方法及其在 BRCAD 系统中的实现	王书庆		(822)

IV 旧桥改造与加固

广东省连州市城北大桥的加固	邵旭东	李立峰	彭旺虎	(827)
植筋技术在桥梁加固和拓宽中的应用	徐凯讯	张尧舜		(833)
国道 324 线双溪大桥老桥加固工程加固原理及施工工艺简介	林万成	赖灿明		(837)
刚架拱桥的加固计算	张雪峰			(842)
公路桥梁扩建与加固工程实录	余 烈			(845)

桥

I 规划与设计

我国公路桥梁建设的回顾与展望

王展意

(中国公路学会)

摘要: 回顾近 50 年来公路桥梁的发展历程, 简要介绍了取得的巨大成就, 并对今后我国公路桥梁的发展前景和技术发展趋势, 进行了初步分析和预测。

关键词: 公路桥梁 建设 成就 预测

我国的桥梁建设历史悠久, 源远流长。1300 多年前修建的赵州桥, 结构新颖, 坚固美观; 800 年前建成的卢沟桥, 古朴典雅, 雄伟壮丽; 至今仍被誉为世界桥梁建筑的杰作。古代石梁桥, 伸臂木梁桥和铁索桥的建设, 也都达到了较高水平, 在国际桥梁史上占有重要地位。但旧中国的公路桥梁建设, 却长期处于落后状态。据 1949 年的调查统计资料, 当时全国仅有公路桥约 30 万米, 而且绝大部分为木桥, 较大的永久式公路桥只有 130 余座。桥梁的设计施工水平也很低, 石拱桥的最大跨径, 还没有达到赵州桥的水平。1948 年修建的钢筋混凝土梁式桥——宝鸡渭河大桥, 跨径只有 8m。当时许多大江大河上没有桥, 汽车只好依靠渡船通过。新中国成立以来, 这种情况发生了令世人注目的变化。

新中国公路桥梁建设成就巨大

“一唱雄鸡天下白”。中华人民共和国成立后, 我国公路桥梁建设, 进入了一个新的发展时期, 取得了非常巨大的成绩。这里仅从以下几个主要方面, 加以简要叙述。

一、桥梁数量迅速增长建设规模日益扩大

近几十年来, 随着公路事业的蓬勃发展, 公路桥梁建设突飞猛进, 日新月异。特别是改革开放以来, 每年都有几千座永久式的公路桥建成通车。其中 1998 年全国新建公路桥 9 000 多座, 总长度达 50 万米。到去年年底为止, 全国公路桥梁总数, 已达 22 万多座, 总长 745 万余米, 比解放前增加 24 倍, 而且基本上都是永久式桥梁, 原有木桥经过改建, 均由各种坚固美观的永久式桥梁所代替,

载重标准也大幅度提高。最近 15 年,公路桥梁建设规模进一步扩大,不少千米以上的特大桥相继建成通车。其中温州瓯江二桥,总长 6 977m,主桥桥面宽 30m,为我国目前公路上的第一长桥。

1950 年前,全长 5 400 多公里的黄河上,只是在兰州市有一座由德国人承包修建的黄河公路铁桥,长度只有 243m。如今上自扎陵湖附近,下至濒临渤海的东营市,已建成公路桥 60 余座,其中郑州黄河公路大桥,长 5 549m,桥面宽 18.5m,其建筑规模,为兰州黄河公路铁桥的 50 多倍。万里长江,自古就被视为难以越过的天险。50 年前,江上没有一座公路桥,如今已有近 40 座不同结构的公路大桥,横跨在滔滔江水之上。同时,我们还在沿海地区,修建了一些跨越海湾和通向海岛的大桥,如厦门海湾大桥、普兰店海湾大桥、青岛海湾大桥、宁波舟山大桥,福建东山大桥等。我国的桥梁建设工期和施工效率,也达到较高水平。1972 年修建的北镇黄河大桥,长 1 394m (后两端引道又改建为桥,全长达 2 933m),基桩最大深度 107m,从开工到竣工通车,只用了九个月的时间。1989 年通车的开封黄河大桥,全长 4 475m,工期也只有一年多。这种速度,在世界建桥史上,都是罕见的。

二、桥梁设计施工技术不断提高许多方面已达到世界先进水平

经过我国桥梁工作者几十年的不懈努力,我们已掌握了修建各种桥型的能力,在深水基础和大桥径桥梁的设计、施工方面,达到了较高的水平。

石拱桥修建技术世界领先 50 年代由于国家钢材、水泥供应不足,交通部要求各地发扬我国修建石拱桥的传统优势,因地制宜,就地取材,积极修建石拱桥,石拱桥的修建技术迅速提高。1958 年,由交通部第五公路勘察设计院设计,陕西省公路施工队伍施工的延安延河大桥,为 3 孔全长 123m 的石拱桥,它造型美观,工艺精良,受到各方面的好评。1959 年湖南省修建的黄虎港大桥,主孔跨径 60m,打破了赵州桥保持的最大跨径石拱桥的历史记录,而且在设计理论和施工工艺上,积累了许多新的经验。此后,我国石拱桥的设计跨径越来越大。1961 年在云南省南盘江上修建的长虹桥,跨径 112.5m,第一次突破了石拱桥跨径 100m 大关。1990 年湖南省的建桥职工,发扬自力更生精神,勇攀建桥技术高峰,又在凤凰县鸟巢河上,建成了一座跨径 120m 的石拱桥。从而使我国的石拱桥建设技术,一直处于世界领先水平。目前我国已建成跨径 100m 以上的石拱桥,共有十几座。其中较著名的还有:四川富顺县的沱江桥,丰都县的九溪沟大桥和河南新县的浒湾大桥等。现在世界上更大跨径的石拱桥——丹河大桥,又正在建设之中,该桥位于晋城——焦作的高速公路上,跨径 146m,桥高 82m,桥面宽 24.2m,它将为世界石拱桥建设史,写下最为光辉灿烂的一页。

钢筋混凝土拱桥建设成就巨大 我国修建的钢筋(钢骨)混凝土拱桥,不仅数量多,结构形式也多种多样,有助拱、双曲拱、箱形拱、桁架拱、刚架拱、扁壳拱等。自 1951 年第一座肋拱桥在陕西建成后,这种桥的修建技术发展很快,先后建成跨径在 60m 以上的肋拱桥有:湖南湘潭大桥、江西赣州东河大桥、山东凤凰台大桥、江苏铁心大桥、甘肃刘家峡大桥等。1983 年辽宁省在丹东市建成的沙河口大桥,跨径 156m,把我国肋拱桥的修建技术提高到了一个新的水平。此后修建的宜宾金沙江大桥和广西邕宁邕江大桥,又把肋拱桥的跨径提高到 240m 和 312m。四川省的建桥职工,在吸取兄弟省修建钢骨混凝土拱桥经验的基础上,又大胆创新,于 1997 年在万县的长江上,建成了一座跨径 420m 的钢管混凝土箱型拱桥,目前该桥的跨径,在同类型拱桥中,居世界第一位。

我国首创的双曲拱桥,于 1964 年在江苏无锡诞生后,由于它使用的钢材少,施工又不

需要大型机械设备,因此很快在全国得到推广。设计理论和施工技术,也在推广中不断完善提高,成为60年代和70年代,我国公路上修建最多的桥型之一。据1979年末统计,公路上修建的双曲拱桥共约50万m,其中大桥4000多座,最大跨径达到150m(河南省前河大桥)。1972年建成的湖南长沙湘江大桥,全长1500多m(含支桥),桥面宽20m,是我国规模最大的双曲拱桥之一,它已使用20多年,至今仍情况良好。双曲拱桥的发展,为加快我国桥梁建设步伐,做出了贡献。但双曲拱桥也有其自身的弱点。因此,自80年代后,随着我国钢材数量的增加和施工机械装备水平的提高,在公路上已很少修建。

箱形拱是在双曲拱的基础上发展起来的,它吸收了双曲拱分段预制装配的优点,避开了在吊装和拱圈形成过程中稳定性较差的弱点,在西南各省修建较多,有些跨径也更大。如1982年建成的四川宝鼎大桥,跨径170m;1990年建成的涪陵乌江大桥,跨径又提高到200m。桁架拱和桁式组合拱,在我国也被广泛采用,80年代建成的贵州剑河大桥,跨径150m。1995年建成的江界河大桥,跨径达到330m,创造了该类拱桥跨径的世界最新记录。

预应力混凝土梁式桥后来居上 我国的预应力梁式桥,与发达国家相比,起步较晚,但自1957年第一座跨径20m的预应力简支梁桥,在北京——周口店公路上建成后,设计和施工技术提高很快。1977年建成的洛阳黄河公路大桥,跨径即提高到50m,1988年竣工的浙江瑞安飞云江大桥,跨径又达到62m。但更大跨径的梁式桥,则普遍采用了T型刚构、连续梁和连续刚构等桥型。其中较有代表性的是,T型刚构:1971年建成的福建乌龙江大桥,跨径144m;1980年建成的重庆长江大桥,跨径174m。连续梁:有跨径120m的湖南常德沅水大桥和跨径154m的云南六库怒江大桥等等。接着连续刚构又把预应力混凝土梁式桥的跨径提高到一个新水平,继1996年建成的黄石长江大桥,主孔跨径达到245m之后,1997年建成的广东虎门大桥辅航道桥,跨径又上升到270m。这些成就都是值得中国人民自豪的。

索桥建设成就斐然 虽然我国曾在公元前250年,修建了跨径60m的竹索桥——灌县珠浦桥;公元1475年修建了跨径100多m的铁索桥——云南霁虹桥,但现代索桥建设却长期处于落后状态。近几十年来,这种情况发生了很大变化。以悬索桥为例,1969年重庆市建成的朝阳大桥,跨径只有186m,1984年修建的拉萨达孜桥跨径即达到500m。90年代,跨径888m(广东虎门大桥主桥)和跨径900m(西陵长江大桥)的钢悬索桥,又相继建成通车。今年建成的江阴长江大桥,全长3200多m,主孔跨径1385m,桥面宽33m,桥下通航净空50m,在世界最大跨径的悬索桥中居第四位。

我国的斜拉桥技术,发展也很迅速。自1975年第一座试验桥在四川云阳县建成后,山东、辽宁、广东、广西、湖北、安徽、上海、浙江、云南、重庆、天津等省、直辖市和自治区,先后建成斜拉桥20余座。其中铜陵长江大桥,桥面为预应力混凝土,跨径432m;上海杨浦黄浦江大桥,桥面为钢——混凝土叠合梁,跨径602m,设计施工技术,都跨入世界先进行列。

此外我们在钢拱桥、钢桁架桥和装配式公路钢桥的修建和制造方面,都取得了不少成绩。代表性的有四川攀枝花2号桥、3号桥和军渡、平阴、北镇黄河大桥等。但由于我国在较长时间内,钢材供应一直比较紧张,修建的钢桥数量不多,技术上和先进国家相比还有不小差距。

我国公路桥梁建设前景展望

随着我国高等级公路建设的迅速发展,以高速公路为主的五纵七横国道主干线,将在下世纪初基本形成,各省、直辖市、自治区干线公路网的技术标准,也将明显提高,江河上现

有的桥梁渡口,在下世纪初,基本上都将由新建的桥梁所取代。因此,桥梁建设必将以较高的速度持续发展,建设任务仍十分艰巨。现在,仅在长江和黄河上,即有南京(二桥)、芜湖、白沙洲、军山、荆沙、宜昌、泸州(二桥)、鄂黄、镇扬、重庆忠县长江大桥和济南(二桥)、焦作黄河大桥等十几座特大桥,正在施工和筹建之中。其中芜湖长江大桥,为公路、铁路两用桥,铁路桥长 10 000 多 m,公路桥长 6 078m,为目前长江上规模最大的桥梁。南京长江二桥,南北两段全长 4 480m,桥面宽 33.5m,南汊主航道为跨径 628m 的钢——混凝土叠合梁斜拉桥,为世界最大跨径斜拉桥之一。同时,即将建成的特大桥,有长 5 784m、桥面宽 23m 的洞庭湖大桥,以及 1999 年即将通车的全长 3 140m、桥面宽 32m 的厦门海沧大桥。这些桥不仅工程规模大,技术上也有不少新的发展。此外,深圳——香港西通道海湾大桥正在筹建,长度几十公里的珠海伶仃洋大桥、浙江杭州湾大桥也在进行前期工作和专家论证之中。据专家预测,下世纪初,随着材料性能和技术水平的提高,根据实际需要,我们有可能修建跨径 800~900m 的斜拉桥,跨径 1 500m 左右的悬索桥和跨径 300m 的连续刚构桥。如果采用斜拉和悬索协作体系,索桥的最大跨径,有可能超过 2 000m。拱桥的形式和跨径,也将有新的发展和突破。

回顾过去,成就辉煌;展望未来,前程似锦。我国的桥梁建设者,一定會在祖国的江河湖海上,建设起一座座更加雄伟壮丽的桥梁,为发展我国的公路事业,促进桥梁修建技术的提高,做出新的、更大的贡献。

中国大跨径公路桥梁的技术发展特征及趋势

曾 威

(交通部公路科学研究所)

摘要 本文概述了中国大跨径公路桥梁的技术概况、技术发展特征和发展趋势。

一、概 述

桥梁是公路的重要组成部分。旧中国由于经济技术落后,在公路上建造的桥梁很少,而永久式的桥梁则更少,至于大江大河上,因为水深流急、河面宽阔、地质复杂、自然因素的影响大、施工困难、投资又大等原因,建造的大桥更是很少。新中国成立前夕,全国公路桥梁全长仅约 30 万米,其中较大的永久式桥只有 130 余座。新中国成立后,随着公路建设的大规模进行,桥梁建设也得到很大的发展。根据能得到的统计资料,1987 年末全国公路桥梁达 15.89 万座,总长 455.3 万米,其中永久式桥即占 14.86 万座、总长 442.97 万米。不仅在长江主要支流上建成公路大桥及特大桥 100 余座,总长近 4 万米,而且在其源头以及上游的金沙江和长江干流上共建成 24 座大桥、总长 1.52 万米。长江干流上的泸州、重庆、葛洲坝、枝江、武汉、南京 6 座特大桥先后建成(其中枝江、武汉及南京三桥为公铁两用桥)。

总长 1.11 千米。1987 年以前在黄河上建造的公路大桥、特大桥共 46 座总长 3.2 千米。实行改革开放以后至 1987 仅 5 年间在珠江各干流上就改渡为桥 20 处、总长 1.13 千米。其它的主要江河上也建造了一些特大桥。本文附录中的表 1~表 4 为 1987 年统计资料。1996 年的统计资料只有长江及黄河主流的,见表 5~表 6。

对以上所举的资料加以剖析,可以看出世界常见的各种桥型在我公路上都已实现。早期的较大跨径的公路桥凭着进口钢材也修建了一些钢悬索吊桥和钢桁架桥以跨过深水深谷但数量极少。除钢桥外五六十年代主要发展了钢筋混凝土(R.C)结构,梁式桥在面上是使用较多的,然而钢材国产还很有限,所以这个时期 R.C. 拱桥得到重视,随后至七、八十年代具有中国特色的预制装配的 R.C 构件建拱之风从此兴起,以双曲拱领头,箱形拱、桁架拱、刚架拱等相继出现, R.C. 拱桥占领了广阔市场。预应力钢筋混凝土(P.C)在公路桥上的推广很慢,是由于高强钢材的供应不足及预应力装备的市场还未建立起来的原因。改革开放以来情况大有改善,专营的厂商已具备市场供应的能力,所以现在大跨径桥采用 P.C. 的逐渐多了起来, P.C. 梁、P.C. 连续梁、P.C.T 型刚构、P.C 连续刚架等都在采用。公路桥迈入了 P.C. 时代,这是符合世界潮流的。值得特别提到的是斜拉桥在中国的出现,一时成为我国桥梁界的宠儿,已建立斜拉桥之多已居世界首位,跨径大小亦排在前列。现代化的悬索桥现在亦成为公路桥的热门货。为了取得现代化的经验,公路界首先选定汕头海湾大桥为悬索桥,由于桥比不宜采用太大跨径,且由于抗施工期台风影响对稳定性的要求,所以采用了 R.C. 闭口箱梁的桥面系构造,现已完成通车。它为继之而建的虎门珠江大桥跨径 888m 桥宽 32m 的特大桥提供了设计施工经验,这座桥采用了薄壁钢箱梁分段预制拼装就位全焊接成梁,以及工地预制索股组装主悬索的新工艺,已通车一年,结构运行良好!为以后建设的现已在建的主跨为 1385m 的江阴长江大桥提供全面经验。江阴桥的跨径世界排名居第四。

中国现代公路桥梁建设,除施工机械、设备、检测手段与国外先进相比尚有差距外,在新桥型、新结构、新工艺、设计理论及计算方面,已跻身于世界先进前列。

二、技术发展特征

中国是具有石拱桥建设传统的国家,但大跨径石拱桥则是解放后发展起来的,现在仍在不断发展,发展中打破了以方整石料建拱的传统,以掺用微粒混凝土砌片石建拱,扩大了就地取材的优势,所以石拱桥在中国公路桥上仍占不小的比重。拱桥的技术发展首先是打破了满堂支架施工的传统,首先在双曲拱桥取得突破,它把主拱圈分为:肋、板、横系梁,成批预制,然后以少支架或无支架施工,用悬吊方式将预制件提放到位形成拱格架,然后以现浇混凝土将其整体化,其余拱上建筑均在其上施工,这就大大改变了拱桥施工的难度,加快了工程速度和降低了造架,这就是拱桥所以还有生命力的所在。

目前最轻型拱要算“刚架拱”,它是肋拱与斜腿刚架的复合体,比双曲拱构造简单、构件种类少、安装方便,据广东省的经验是一种造价最低的桥。但这种桥已使用的跨径多在 40~100m 的范围。

劲性骨架的 R.C. 拱,钢管拱都是近年的新产品,使大跨径拱桥很有前途。

水下基础的施工特别是深水深基础的施工是难度较大和施工设备较多的,我国公路桥最广泛使用的钻孔灌注桩,钻孔桩径为 1.50~3.00m 是最常用,深水用套管施工,桩长纪录达 105m。现在许多梁式桥采用双柱式墩是一种很轻便美观的形式。连拱亦有采用桩墩的例子。

我国桥梁技术发展过程是从实际出发，便于群众使用，经济效果好，从简单开始逐步形成正规化定型化，是以自力更生为主引进外国为辅的，是由土到洋的一条经验，始终在走自己的路，这是我们可以引以为豪的。

三、发展的趋势

首先是随着电子计算的发展，在桥梁设计方法上、理论上可能从弹形延伸到弹塑性，从平面计算进入空间计算，以及复杂叠合的结构的计算。例如拱桥可以引入塑性铰的分析，梁式结构从整体上来分析其分部的应力应变。装配化或悬臂法施工的桥梁计算计入其施工各阶段的应力应变、振动及稳定，以及其成型后受力的叠加情况等等。都可以在计算机上模拟和运算。把设计和施工溶和起来，把所将遇到的自然与人为的灾害防患于未然。

时间因素是对大桥使用期状态的变化有关的，所以特殊大桥特别是新结构桥型的跟踪测试纪录和从而判断其关键部位的安全度是很重要的，积累所观测的资料在分析研究上都是很宝贵的。长期观测采用现代遥控技术正在发展。

21 世纪就要来临，我国国力的强盛，公路交通的投资很大，技术发展必需跟上时代，今后改渡为桥的任务很大，特别许多的渡口包括海湾与跨海的通道也要靠大桥来解决，这些地质、水文、气象都是较复杂的。跨海工程过去接触得不多，海上平台的技术是值得我们学习借鉴的。

大跨径桥梁要使其能够安全运行中日益增长的车流，交通工程的设计和设施至为重要，所以特大桥的设计车道数应根据百年以上的交通量设计并酌留紧急行车带以调正因偶然事故而产生的车流阻滞和排除便利。交通工程现在已成为桥梁工程不可少的一门学问。这也是近来发展的趋势。

值得注意的事是现在的经济发展，促使沿海的跨海通道的建设纷纷上马。过去所取得的江河上建桥的一些经验，在海上就显得不足了，对海流及潮汐和台风的性能及作用的影响有关资料不多研究甚少，现在很需要补课了。

我们现在急需着手拟定我国的《大桥建设的技术规范》了，作者在此也作个呼吁！

长江（含金沙江）公路特大桥概况

(1987 年)

表 1

桥 名	所在 省、区	主 孔 桥 型 结 构	主孔最 大跨径 (m)	桥 梁 全 长 (m)	建成 年份	备 注
伏龙桥	云南省	钢悬索桥	108.00	113.40	1959	在金沙江上
树底吊桥	云南省	钢悬索桥	111.00	125.80	1960	在金沙江上
金安桥	云南省	钢筋混凝土箱型拱	110.00	186.00	1982	在金沙江上
金江桥	云南省	钢悬索桥	136.00	222.20	1962	在金沙江上
定鼎桥 (07 号桥)	四川省	钢筋混凝土箱型拱	170.00	392.00	1982	在金沙江上
荷花桥 (05 号桥)	四川省	钢筋混凝土箱型拱	110.00	252.20	1975	在金沙江上
河门桥 (04 号桥)	四川省	钢悬索桥	185.00	212.00	1968	在金沙江上
新庄桥 (06 号桥)	四川省	钢筋混凝土箱型拱	146.00	327.20	1972	在金沙江上
渡口大桥 (02 号桥)	四川省	栓结钢板箱型无铰拱	180.00	304.50	1966	在金沙江上

续上表

桥 名	所在省、区	主 孔 桥 型 结 构	主孔最大跨径 (m)	桥 梁 全 长 (m)	建成年份	备 注
密地桥 (03 号桥)	四川省	栓焊钢桁架拱	180.00	299.00	1969	在金沙江上
红果桥	四川省	钢悬索桥	140.00	152.00	1982	在金沙江上
马鸣溪桥	四川省	钢筋混凝土箱型拱	150.00	245.00	1979	在金沙江上
泸州长江大桥	四川省	预应力混凝土 T 型刚构	170.00	1255.60	1982	
重庆长江大桥	四川省	预应力混凝土 T 型刚构	174.00	1120.00	1980	
葛洲坝三江桥	湖北省	预应力混凝土 T 型梁和 T 型刚构	158.00	750.00	1981	葛洲坝水利枢纽工程附属工程
枝城长江大桥	湖北省	连续钢桁架	160.00	(公路部分) 1750.10	1971	公路铁路两用桥
武汉长江大桥	湖北省	连续钢桁架	128.00	1670.60	1957	公路铁路两用桥
南京长江大桥	江苏省	连续钢桁架	160.00	(公路部分) 4589.00	1968	公路铁路两用桥

注: 各桥按河流上下游顺序排列。

黄河公路特大桥概况

(1987 年)

表 2

桥 名	所在省、区	主 孔 桥 型 结 构	主孔最大跨径 (m)	桥 梁 全 长 (m)	建 成 年 份
尖扎马克圪桥	青海省	钢筋混凝土箱型拱	100.00	165.38	1983
积石吊桥	青海省	钢悬索桥	124.00	140.00	1979
八盘峡吊桥	甘肃省	钢悬索桥	174.00	180.00	1983
桑圈子吊桥	甘肃省	钢悬索桥	140.00	140.00	1980
什川吊桥	甘肃省	钢悬索桥	124.00	165.00	1971
平堡吊桥	甘肃省	钢悬索桥	133.00	192.40	1971
中宁石空黄河桥	宁夏回族自治区	预应力混凝土 T 型梁	40.00	926.98	1986
叶盛黄河桥	宁夏回族自治区	双曲拱	40.00	591.10	1970
包头黄河桥	内蒙古自治区	预应力混凝土连续梁	60.00	810.00	1983
保德黄河桥	山西省	预应力混凝土 T 型刚构	60.00	639.08	1972
禹门口桥	陕西省	钢悬索桥	144.00	167.20	1973
新安黄河桥	河南省	钢悬索桥	320.00	320.00	1982
白浪黄河桥	河南省	钢悬索桥	438.00	440.00	1986
洛阳黄河桥	河南省	预应力混凝土 T 型梁	50.00	3428.90	1977
郑州黄河新桥	河南省	预应力混凝土 T 型梁	50.00	5549.86	1986
平阴黄河桥	山东省	连续钢桁架	112.00	963.50	1970
济南黄河桥	山东省	预应力混凝土斜拉桥	220.00	2023.44	1982
滨州黄河桥	山东省	连续钢桁架	112.70	2931.00	1972
东营黄河桥	山东省	钢梁斜拉桥	288.00	2817.46	1987