

第二十一届全国桥梁学术会议 论文集（上册）

2014 · 大连

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

Di-ershiyi Jie Quanguo Qiaoliang Xueshu Huiyi Lunwenji
第二十一届全国桥梁学术会议论文集

(上册)

中国土木工程学会桥梁及结构工程分会 编

2014 · 大连



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书为第二十一届全国桥梁学术会议论文集,由中国土木工程学会桥梁及结构工程分会精选的170余篇优秀论文汇编而成。本论文集包括大会报告,设计与分析,施工与控制,抗震、抗风与动力分析,检测、加固及其他五个部分,全面、系统地展示了近一时期我国桥梁工程建设的新动态、新理念、新成果和新经验。

本书可供从事桥梁工程设计、施工、检测、管理等相关工作的技术人员参考使用,也可供大中专院校相关专业师生阅读学习。

图书在版编目(CIP)数据

第二十一届全国桥梁学术会议论文集·上册 / 中国土木工程学会桥梁及结构工程分会编. — 北京:人民交通出版社, 2014. 5

ISBN 978-7-114-11404-5

I. ①第… II. ①中… III. ①桥梁工程—学术会议—文集 IV. ①U44-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 086365 号

Di-ershiyi Jie Quanguo Qiaoliang Xueshu Huiyi Lunwenji

书 名:第二十一届全国桥梁学术会议论文集(上册)

著 作 者:中国土木工程学会桥梁及结构工程分会

责任编辑:张征宇 郭红蕊

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)59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:72.5

字 数:1719 千

版 次:2014 年 5 月 第 1 版

印 次:2014 年 5 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-11404-5

定 价:220.00 元(上、下册)

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

第二十一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

副主任 葛耀君

委员 (以姓氏笔画为序)

牛 斌 吉 林 孙利民 肖汝诚

邵长宇 孟凡超 赵基达 秦顺全

高宗余

组织委员会

主任 肖汝诚

副主任 刘 征 杨志刚 张 哲

委员 (以姓氏笔画为序)

华彦常 孙 斌 武肖良 松 宇 徐太波 黄才良

廖 玲 穆 玉

主办单位

中国工程院土木水利与建筑工程学部

中国土木工程学会

中国土木工程学会桥梁及结构工程分会

大连市城乡建设委员会

大连市星海湾开发建设管理中心

协办单位(排序不分先后)

中铁十九局集团第五工程有限公司

中交一航局第三工程有限公司

中交第二公路工程局有限公司

大连理工大学土木工程建筑设计

研究院有限公司

中交第一航务工程局有限公司

大连船舶重工集团有限公司

中铁宝桥集团有限公司

江苏法尔胜股份有限公司

四川天元机械工程有限公司

镇江蓝舶工程科技有限公司

大连天禄防腐工程有限公司

衡水宝力工程橡胶有限公司

大连顾德防腐工程有限公司

宁波路宝科技实业集团有限公司

中咨工程建设监理公司

山东省交通工程监理咨询公司

大连理工工程建设监理有限公司

承办单位

《桥梁》杂志社

大连理工大学

——目 录(上册)

一、大会报告

1. 拱的艺术..... 邓文中(3)
2. 21 世纪中国桥梁的发展之路——中国距离桥梁强国还有多远 项海帆(12)
3. 钢管混凝土劲性骨架成拱技术的兴起和发展 谢邦珠 庄卫林 蒋劲松 牟廷敏(19)
4. 珠江口大型公路跨江(海)通道建设综述 陈冠雄 宋神友 苏权科(23)
5. 星海湾跨海大桥及大连周边部分桥梁设计介绍 张 哲(31)
6. 沪通长江大桥主要技术参数的确定 高宗余(43)

二、设计与分析

7. 椒江二桥新型组合梁的技术特点和优势 徐利平 戴利民 赵佳男 郭 龙(51)
8. 考虑恒载影响的桥梁抗疲劳三判据设计和结构疲劳损伤图 郝 苏 陈惟珍(59)
9. 基于经济、耐久和创新理念的城市桥梁..... 穆祥纯(67)
10. 既有桥梁的桥台处无缝化改造 Bruno Briseghella 薛俊青 陈宝春 庄一舟(74)
11. 星海湾跨海大桥主桥锚碇设计..... 耿铁锁 张 哲 宋向群 王 骞(81)
12. 大连星海湾跨海大桥引桥设计..... 潘盛山 张 哲 黄才良(85)
13. 大连星海湾跨海大桥引桥设计——东段钢栈桥总体设计及关键工艺
..... 寇海军 李旭东 吴晓峰 乔兴华(91)
14. 大连星海湾跨海大桥周围水域设计波浪..... 宋 悦 孙振祥 张宁川(96)
15. 无推力空间钢网拱桥——天津安阳桥桥梁设计 张振学 韩振勇 郭会国(103)
16. 软土地基地锚式人行悬索桥概念设计 汤洪雁 韩振勇 王秀艳(108)

17. 吴江学院路大桥主桥优化设计	李秉南	张恒平(112)
18. 上海浦东川环南路自锚式悬索桥的设计	黄智华 陆文亮	张芳途(119)
19. 大跨径预应力混凝土鱼脊连续梁桥设计	陆元春	傅 梅(124)
20. 变截面景观跨河桥结构设计探讨		许延祺(131)
21. 苏州市吴中区新塘桥概念设计	许 骏 于千惠 孙 斌 周海智	肖汝诚(138)
22. 鱼窝头立交 B 匝道波形钢腹板弯箱梁桥设计与施工	曾田胜	卢绍鸿(145)
23. 异形变宽预应力混凝土主梁设计技术——太平庄互通立交跨滦河特大桥异形变宽梁设计	王 美 李盼到	宋 鑫(151)
24. 独塔背扭式斜拉桥设计	甘 露 苏剑南	杜细春(156)
25. 吉水赣江二桥主桥的创新设计	李永君 戴建国	卢永成(162)
26. 宽桥面拱塔斜拉桥的设计与拱塔无支架施工 ...	许瑞红 曹斐民 徐 磊	张 磊(169)
27. 秦淮河开启桥垂直提升系统	张 剑 游 冰 刘 俊 刘 熊	王春芳(176)
28. 山区新型组合式 U 形梁桥结构研究	潘可明	肖永铭(181)
29. 铝合金桁梁悬索桥的力学性能与应用前景	葛晓萌 王会利 张 哲	许福友(188)
30. 基于拉应力域法的花瓶墩配筋设计	周 童 徐 栋	席广恒(194)
31. 中国高速铁路预应力连续梁拱组合桥调查与研究	刘 瑶	戴公连(200)
32. 重载铁路新型槽形连续梁—拱组合桥设计	徐升桥 夏 龙	任为东(207)
33. (48+80+48)m 重载铁路连续梁桥设计	汪 禹 戴公连	闫 斌(212)
34. 欧洲的公铁两用桥发展现状	刘 钊	肖汝诚(220)
35. 浇注式沥青混凝土与钢桥面板的黏结技术	章登精 朱华平	潘友强(228)
36. 钢桥面复合铺装研究		徐海鹰(236)
37. 钢绞线与平行钢丝斜拉索性能分析与展望	罗 维 葛耀君	谢正元(241)
38. 处于 S 形曲线桥梁布梁方案研究	何 俊 牛小平 王泽军	王时元(248)
39. 建筑信息模型技术及其在桥梁工程中的应用 ...	邹 阳 周水兴 李海江	杨昌龙(252)
40. 桥梁有限元软件开发前后处理界面设计的关键技术		阴存欣(259)
41. 论基于创新理念的城市桥梁支座新技术		穆祥纯(265)
42. 谈城市景观桥梁		徐利平(272)
43. 城市景观桥梁美学效果分析及评价	陈振东	徐利平(280)
44. 临桂新区桥梁美学设计		徐家慧(286)
45. 古为今用:赵州桥启示录.....		赵学勤(293)
46. 关于城市多条河流上桥梁景观规划的探讨	滕小竹 罗喜恒 杨士金	戴利民(299)
47. 基于响应面法的正交异性钢桥面板抗疲劳参数设计研究	崔 闯 卜一之 张清华	李丽娟(304)
48. 加劲肋—板单元在大跨度钢桥整体局部稳定分析中的应用		颜 海(311)
49. 独柱墩桥梁抗倾覆稳定验算方法及参数影响分析	陈露晔 孙章校 童 庆	雷 波(318)
50. 超大跨度钢斜拉桥双悬臂施工阶段可靠度分析	白 冰 李 乔	张清华(326)
51. 混合遗传算法在预应力混凝土桥梁结构静力可靠度分析中的应用研究	程 进	黄 洁(333)
52. 钢管初应力与混凝土自应力对钢管混凝土构件承载力影响研究 ...	邵 京	周水兴(339)

53. 预应力对混凝土梁抗剪承载力影响机理与计算方法研究 ... 颜晓伟 戚家南 王景全(345)
54. 单索斜拉桥优化设计与施工之解析研究 张师定(352)
55. 体内体外混合配束节段预制箱梁的数值模拟 ... 袁爱民 钱守龙 周元华 何 雨(356)
56. 基于空间网格的波纹钢腹板组合梁结构的计算分析 凌 浩 徐 栋 尼颖升(363)
57. ANSYS 中斜拉索与主梁无应力长度的修正方法
..... 周水兴 李大勇 张万晓 卢云贵(370)
58. 板桁组合梁桥空间梁格模型简化计算方法研究 李 明 李 磊 王景全(377)
59. 梁格法在正交异性桥面系中的应用 单景翼(385)
60. 自锚式悬索桥活载累积效应研究 董学智 陈富强 栾紫明 杜亚光(390)
61. 两种基于参数优化的混凝土徐变模型 施江涛 肖汝诚(396)
62. 下承式特大型宽桥面混凝土鱼脊连续梁桥——鱼脊立墙空间及温度效应分析
..... 傅 梅 何晓光(402)
63. 杭州湾跨海大桥海中平台匝道桥支座位移与钢箱梁温度相关性研究
..... 周 旋 马如进 张 振 陈艾荣(409)
64. 新旧箱梁桥沉降差引起的刚接翼缘板横向受力分析 宋 奕 孙 斌 肖汝诚(415)
65. 分阶段单根张拉的平行钢绞线斜拉索张拉力简化计算方法的研究
..... 庄冬利 许 骏 肖汝诚(422)
66. 高墩连续刚构桥合龙方式研究 石 伟 何 畅 覃巍巍(429)
67. 低塔混合梁斜拉桥边中跨布置研究 程利鹏 孙 斌 肖汝诚(441)
68. 上承式钢筋混凝土拱桥拱圈裂缝原因分析 赵 军 贾丽君 滕小竹(448)
69. 斜拉桥箱梁有无横隔梁性能对比研究 颜 志 刘大中 陈德伟(452)

三、施工与控制

70. 530m 跨钢管混凝土拱桥合江长江一桥施工创新技术 ... 韩 玉 冯 智 秦大燕(461)
71. 拱桥悬浇技术的创新发展 曹 瑞 裴宾嘉(468)
72. 嘉绍大桥钢箱梁合龙施工技术研究与应用 宋向荣 唐 衡 彭琳琳(474)
73. 大连星海湾跨海大桥主桥钢桁梁吊装工艺
..... 孙艳明 梁磊磊 檀永刚 郝胜利 仝增毅(483)
74. 海上悬索桥索塔施工技术浅析
..... 张洪文 张 斌 张海波 鄂耀宇 强 凯 田 江(489)
75. 超大沉箱起浮、拖运、安装关键施工技术的应用 ... 洪凌云 康松涛 由 金(496)
76. 预填骨料升浆技术在海上悬索桥锚碇超厚基础上的研究及应用
..... 洪凌云 赵世龙 董慧娟(503)
77. 几种形式锚固系统在地锚式悬索桥中的应用 ... 杨 勇 赵晨光 孙艳明 梁磊磊(509)
78. 刚性拉杆锚固系统安装方法
..... 赵晨光 杨 勇 马 琦 杨明明 苏保祥 张 侃 赵季军 梁 斌(517)
79. 大连星海湾跨海大桥箱梁预制施工技术 南江勇 吴晓冬(523)
80. 大连星海湾跨海大桥引桥设计——钢吊箱与钢套箱在浅水区施工方案比选

.....	周 坤 蒋俊辉 李旭东 寇海军(529)
81. 大连星海湾跨海大桥引桥设计——裸岩区钢护筒捆绑下放法施工技术工艺研究	张 蔚 乔兴华 蒋俊辉 白增奇(533)
82. 大连星海湾跨海大桥引桥设计——浅谈钻孔灌注桩基溶洞处理方案	杨 亮 蒋俊辉 吴晓峰 白增奇(539)
83. 浅谈强潮汐深水海域的大直径钻孔桩施工及特大型串珠状溶洞的处理方式	寇海军 吴晓峰 蒋俊辉 李旭东(546)
84. 海上裸岩及浅覆盖区钻孔灌注桩施工技术——钢护筒沉放及封闭处理	王春利 张 俊(553)
85. 大连星海湾跨海大桥岩溶地质钻孔灌注桩施工	孙艳明 郝胜利 马振民 张洪文 杨 勇 杨富生 马孝海(560)
86. 岩溶地质钻孔灌注桩施工专用机具研究与应用	孙艳明 马振民 郝胜利 汪贤挺 杨富生 骆彦兵(567)
87. 特大型桥梁没水承台钢吊箱施工	袁耀东(573)
88. 钢吊箱围堰在近海承台施工中的应用	张 强 关红军 张志强(580)
89. 浅谈超大沉箱的预制及过程中的质量控制	关红军 张志强 傅 余(587)
90. 大面积裸岩及浅覆盖层海域栈桥施工关键技术	王春利 刘开来(593)
91. 浅谈开敞式水域跨海桥的控制测量	贾玉林 李景新(600)
92. 基于 3D 扫描分层投影的桥塔几何特征线形测量	伊晓东 韩国利 王家良(605)
93. 大连星海湾跨海大桥主桥的施工监控	荆友璋 张 哲 黄才良 张小龙(611)
94. 光纤锈蚀监测技术及其在大连星海湾跨海大桥中的应用	赵雪峰 孙长森 欧进萍(616)
95. 液压牵引与滚轮行走结合的新型 5 000kN 缆载吊机研制	邓年春 刘显晖 伍柳毅 陈 立 郭世滔 刘 俊(622)
96. 单主缆斜吊杆悬索桥施工技术	刘明友(628)
97. 陈家溪大桥无支架缆索吊装施工技术	孙 勇(636)
98. 大跨径双肋闭口薄壁箱拱圈施工技术——湖北小溪河大桥拱圈一期混凝土施工	吴春其 赵 坤 陈 威 白 伟(641)
99. 平昌巴河 2 号特大桥 77t 缆索吊系统设计及单肋合龙稳定性分析	陈 刚 彭 云(646)
100. 内蒙古京新高速大吨位连续刚构桥梁跨京包铁路转体施工技术	胡青松 詹 文 陈明凯 马育忠 唐康丽(653)
101. 低净空航道上宽幅桥梁挂篮施工技术	余 洋 梁朝勇 张公全 邓 圳 周 林(659)
102. 连续刚构 0 号块施工控制技术	文 军 吴继林 罗金权 向非恒(663)
103. 青义涪江大桥主梁 0 号梁段现浇托架设计	黄惠勇 何文凯 张 芳 文新华(667)
104. 先简支后结构连续 T 梁施工技术浅析	何长春 陈丽丽 罗雨轩 文国武 周春林(673)
105. 山区高速公路桥梁下部构造施工技术	陈明凯 刘胜军 李晓东 李邦伟(679)
106. 爬模在保果金沙江特大桥高墩上的施工应用	

.....	张 泥 何文凯 李 琦 岳翠萍 周春林(684)
107. 渠江特大桥深水基础施工技术.....	王喜才(691)
108. 新白沙沱长江六线铁路特大桥深水基础施工技术	
.....	余绍宾 张炜烽 周功建 代 皓(697)
109. 港珠澳大桥 CB05 标非通航孔桥——双壁钢套箱围堰施工	赵 勇 孙国光(703)
110. 蓬安嘉陵江二桥主墩承台单壁深水钢吊箱和套箱的施工技术	
.....	何 锐 魏亚洲 李江林 冯昭煌 杨 俊 兰 浪(707)
111. 单壁深水钢吊箱承台施工在蓬安嘉陵江二桥的应用.....	梁 洋(718)
112. 整体装配式钢板桩围堰在外海深水环境中的施工应用	
.....	郑瑞杰 彭 鹏 郭 劲(722)
113. 深水区锁口钢管桩加钢板桩组合围堰施工技术研究与应用	
.....	赵成立 许建伦 闻 松 周海涛(731)
114. 浅谈超岩溶发育地区特大桥水下灌注桩机制砂混凝土质量 控制.....	甘正兴 徐少波(738)
115. 溶洞地区桩基施工的探讨.....	朱德清 汪碧云 文新华 杨 杰(743)
116. 复杂地层旋挖机钻进成孔施工工艺探析.....	杨瀚翔 杨 杰 文新华(747)
117. 山区高速公路桩基施工有关问题的探讨.....	尹劲松(752)
118. 清水混凝土在桥梁工程中的应用.....	孟新奇 米子明 刘金生 孙准正(756)
119. 主跨 230m 保果金沙江特大桥测量监控技术	
.....	李 剑 吴继林 何文凯 李彩娥 杨 剑(765)
120. 大跨度自锚式悬索桥体系转换控制.....	张连振 宋子龙 赵金星(769)
121. 双塔双索面三跨自锚式悬索桥体系转换施工控制.....	喻明福 秦小晶 陈蓓蓓(776)
122. 基于无应力状态法的拱桥悬臂施工控制方法研究	
.....	张万晓 杨昌龙 周水兴 卢云贵(785)
123. 东瓯大桥吊杆更换受力性能的影响分析和施工监控	
.....	贾丽君 仲 健 黄吉滔 回海博(790)
124. 湘潭三大桥主桥运营期调索技术研究.....	袁帅华 张圃维 钟新谷(796)
125. 天津安阳桥主桥支架脱空方案优化.....	宋春滨 刘 超 徐 栋(803)
126. 大跨连续梁桥悬臂施工过程几何控制机理研究.....	刘书波 刘 葵(811)

一、大会报告

1. 拱 的 艺 术

邓文中

(林同校国际工程咨询(中国)有限公司)

摘 要:拱桥已有 2 000 多年的历史,从罗马拱桥的壮观而坚固,到许多现代拱桥的优雅而飘逸的风格,拱桥的发展受当时可用建筑材料的影响,演变出大量不同的拱的形状。今天,随着更多种类建筑材料和机械的出现,使许多美丽且具标志性的拱桥变为可能。

关键词:拱桥 艺术 设计 美学

1 古代拱桥

拱桥是最古老的大跨度桥梁形式。原因很简单,在梁桥、拱桥、斜拉桥和悬索桥这四个基本桥梁类别中,拱桥是唯一可以使用基本上没有受拉能力的石块和砖头建造的桥梁。在古代,石块和砖头是唯一可用于大型建筑的材料。因此,当一座桥的跨度较大时,拱桥是唯一可以采用的桥型。而且拱在大自然中很普遍,自然景观中有着丰富的拱的例子(图 1)。由此看来拱桥的灵感最初可能也来自大自然。

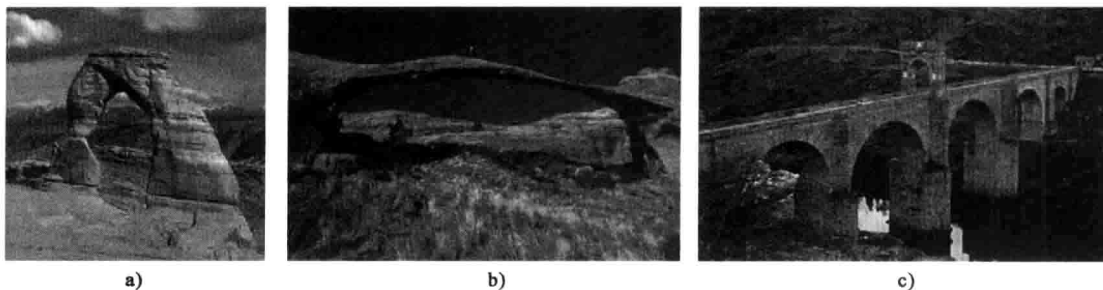


图 1 大自然的拱和罗马式的拱桥

今天,当我们谈论古代的拱,我们通常会联想到古罗马拱。毋庸置疑,古罗马人是伟大的建筑师,他们建造了许多壮丽的拱结构,用于宫殿、剧场、桥梁和高架引水道等等。但是,拱的建造可以追溯到古罗马时代之前,其中一个显著的例子是建造于公元前 600 年的巴比伦的伊什塔尔门。尽管如此,至少对于桥梁,古罗马传承并丰富了拱形建筑的艺术。在 2000 年以后的今天,部分这些建筑依然保持着相对良好的状态。

我们无法推测,如果古罗马人也拥有现今的建筑材料会建造出怎样的结构,但在造拱的技艺上,罗马人绝对是大师。现在罗马人遗留下来的都是能保持时间最长的石拱。古罗马人的拱都是半圆形的,建筑界也因而称这种类型的拱为“罗马拱”。出于明显的原因,这些石拱桥只能是将桥面建于拱的上面,也就是我们今天的上承式拱桥。

石拱桥是非常沉重的,这是坏处,但也有它的好处。重量给予拱肋承受横向荷载的能力,抵抗在地震、台风和洪水等现象中所产生的横向推力。因为这些横向荷载可引起横向弯矩,这些弯矩在拱肋中会引起拉应力和压应力(尤其是在桥墩和地基),石块和砖不能承受拉应力,拱的重力给结构增加了压力,可以克服这些弯矩带来的拉应力。

当然,我们谈论拱桥的时候不能忽略了我国古代的拱桥。其中最有名的自然是赵州的安济桥,通常简称为赵州桥(图2)。赵州桥和一般的古罗马拱桥有明显的区别。罗马拱都是半圆形的,只适宜桥面离水面很高的桥梁。因为半圆的拱,它的矢跨比都是 $1:2$ 。就是说,拱高必须是拱的跨度的一半。赵州桥的拱跨度 37m ,高只有 6m ,适用于低矮的地形。这座桥的矢跨比 $1:6$,与现代拱桥普遍的在 $1:4$ 到 $1:8$ 之间的矢跨比吻合,可以说是这座大桥的设计者先进的构思。赵州桥大约建于公元600年,是那个时代的世界纪录。中国其实建造了不少石拱桥,但几乎都因为年久失修,荒废了。很可惜!



图2 赵州桥

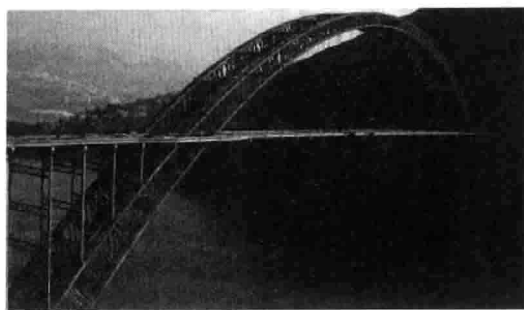
当然,中国和外国也建造过许多木拱桥,但木材的耐久性能有限,不能留传得很久。所以我们今天能保留下来的,都是石拱桥。

2 现代拱桥

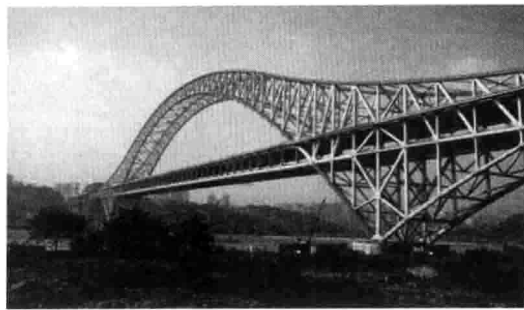
现代拱桥大多比较轻盈,它们绝大多数是用钢或钢筋混凝土建造。这些材料具有抗拉能力,所以,用现代材料建造的拱桥的拱肋可以容许拉力、压力和弯矩。它们看起来比较纤细。纤细和轻盈的好处是它们给我们极好的机会创造优美的、窈窕的拱,还可以容许更大的跨度。然而,细而轻的拱肋的缺点是,如果没有其他支撑,拱肋在荷载下不够稳定。由于拱肋是承受压力的杆件,就像受压的柱一样,它会产生面内和面外的屈曲而失稳。

拱肋的屈曲可以简单地视为一个刚度问题。早期的铁拱桥和钢拱桥,例如埃菲尔(Gustav Eiffel)设计的葡萄牙柏吐的玛利亚·皮亚大桥(Dorna Maria Pia Bridge, Porto, Portugal)和林登索尔(Gustav Lindenthal)设计的在纽约市的地狱门大桥(Hell Gate Bridge, New York),大都使用桁架拱肋。这样就可以以有限的材料,提供足够的拱肋刚度。我国这20多年来也建造了许多桁架式拱桥,尤其是填充混凝土的钢管拱,更成为了我国的一个特色。此

外,重庆的朝天门大桥(图 3),主跨 552m,现在是世界最大跨径的拱桥,也是桁架拱。



a)巫山大桥



b)朝天门大桥

图 3 桁架拱桥

柱的屈曲临界荷载与其横截面的刚度成正比,刚度通常以“ EI ”来表示,其中 E 是材料的弹性模量, I 是横截面的转动惯量。一个拱肋的屈曲肯定比一根简单的柱子要复杂得多,但基本概念是非常相似的。所以,增加拱肋横截面的刚度可以提高拱的临界压力。

因为弹性模量 E ,对于任何给定的材料几乎是恒定的,增加刚度只能通过增加横截面的惯性矩 I 来实现。增加横截面的惯性矩最直接的方式是增加构件的尺寸。这样做的缺点是,拱肋尺寸的增加会使其显得笨重,在一般情况下会导致桥梁不能满足美观的要求。

我们有几种方法可以用来稳定细长的拱肋。在面内方向,拱肋是由吊杆与梁连接的。拱肋的任何垂直变形将迫使主梁跟着变形。如果吊杆不伸长,那么梁的垂直变形必须与拱肋的垂直变形相等。因此,无论是拱肋的刚度还是梁的刚度都有助于拱肋的稳定。吊杆的轴向变形,即吊杆的拉伸或缩短通常很小,增加梁或者拱肋的刚度来对抗屈曲在大多数情况下都同样有效的方法。所以,在刚性梁的情况下,拱肋可以做得更为纤细。美国波特兰的弗里蒙特桥(Fremont Bridge,Portland,USA)和中国台湾的关渡大桥就是很好的例子(图 4)。



a)弗里蒙特桥



b)关渡大桥

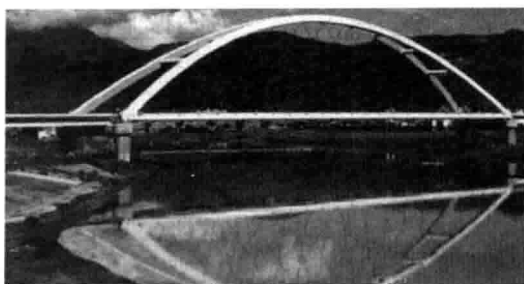
图 4 美国波特兰的弗里蒙特桥和中国台湾的关渡大桥

另一种增强拱肋面内稳定性的方法是使用倾斜的、桁架式的吊杆。这个系统被称为“网状系统拱桥(Network Arch)。”实际上,网状系统拱桥的作用更像是一个桁架,吊杆类似桁架的腹杆。因此,拱肋在面内方向可造得非常纤细(图 5)。

在面外方向,吊杆通常与拱肋处在同一平面上,所以它们对加强拱肋的横向或面外屈曲不能提供任何帮助。解决这个问题最常见的方式是让两个拱肋互相支撑,这种支撑可以是像一个桁架结构纵横交错[图 6a)],或者是简单的像一个空腹桁架结构平行支柱[图 6b)]。图 7 是两个拱肋互相支撑的一个特别的形式。

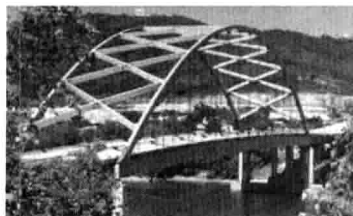


a)德国费曼大桥

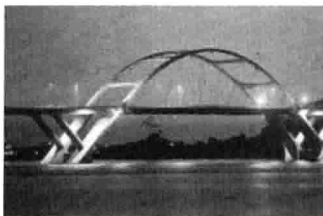


b)台湾的麦克阿瑟将军大桥

图5 网状系统拱桥



a)



b)

图6 两种横撑方式



图7 特殊的稳定方式

将拱和吊杆组合成一定的空间(三维)结构是增强拱肋横向稳定性的另一有效途径。这里,有几种可供选择的方法来达到类似的结果:一种方法是使用有足够抗弯刚度的吊杆,将拱肋与主梁连接起来,利用梁的扭转刚度控制拱肋的横向变形[图 8a)]。不过,这种方法只能实施于相对较小跨度的桥梁,如果拱跨太大,这些吊杆太长,会显得很笨重。



a)



b)

图8 吊杆的空间布置

一旦拱肋在面内和面外的稳定问题被解决,拱对于短跨度和中跨度桥梁来说就是一个多功能的结构。下面是几座已经建成的拱桥的例子。

2.1 菜园坝长江大桥

菜园坝长江大桥位于重庆。它从城的南部跨长江至城的中心地带,主跨 420m,通车时是世界上最大跨度的公轨两用拱桥。这座桥从城市的很多地方都可以看见。美观是设计中重要的考虑因素之一。

主梁上层桥面设有六个车行道和双侧人行道,下层为双线轻轨车道。上层桥面宽 36.5m,下层宽 12.1m,梁高 11.5m,形成一个梯形横截面。在这里,主梁如果采用矩形横截面看起来会显得笨重。梯形截面的主梁在跨越长江河谷的背景下看起来比较清秀。美学上,拱肋应该

尽量窈窕。所以选择了简单矩形截面,宽 2.4m,高 4m。由于主梁刚度大,拱肋可以很窈窕。

为了保证拱肋的横向稳定,提篮拱是一个有效的选择。这座拱桥的两根拱肋向内互相倾斜,由方形的横撑相连(图 9)。

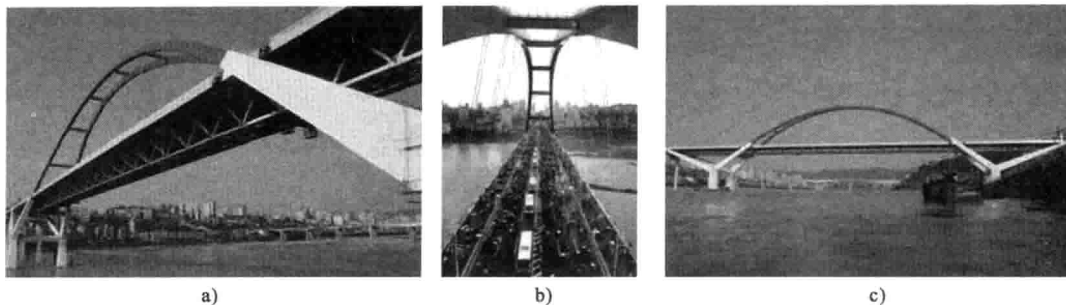


图 9 重庆菜园坝大桥

在这里,长江的最高和最低水位相差可达 39m。为了使拱肋不在水位高的时候被淹没于水下,影响桥梁整体的美观,我们将整个拱向上提升,放在两个桥墩之上。同时较低部分的拱肋接近水面,会受到湿气影响,所以这一段拱肋不用钢,而采用高强度的混凝土,增加防腐蚀能力。这样的安排也提高了防止船舶碰撞的能力。而且从美学的角度看,刚性的底部使这座桥看起来更稳重,更壮观。

系杆拱桥对大跨度桥梁来说是个明智的选择。它在中小跨度但桥面狭长的情况下也具吸引力,拱肋的倾斜度将因此不会过于强烈。

2.2 天津大沽桥

当桥的跨度不大时,尤其是在桥面很宽而跨度又不大的情况下,如果拱肋向内倾斜,拱肋与桥面之间的空间比较狭窄,人在路过的时候会有一种被压抑的感觉。为了给过桥的人提供一个宽阔的视野,拱肋可以选择向外倾斜,例如在中国天津的大沽桥,见图 10。

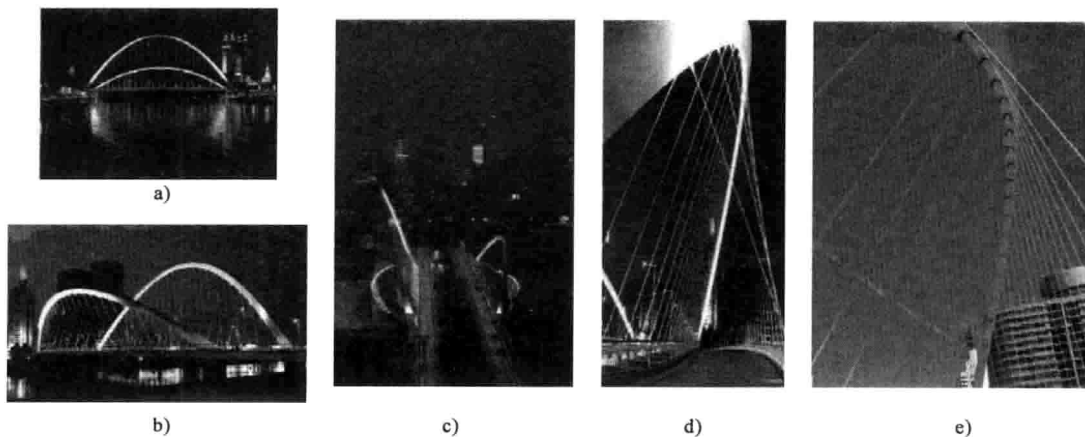


图 10 天津大沽桥

如果拱肋向外倾斜,拱肋之间的横撑就会很长,横跨在路面上空,影响美观。如果不用横撑,拱肋就必需很粗壮,否则会不稳定。因此,我们必须通过其他方式提供横向支撑。出于这个原因,大沽桥的每根拱肋的两侧都有吊杆,构成一个三维空间结构体系。这种安排让拱肋受到侧向约束而大大地提高了横向稳定的极限屈曲荷载,从而使拱肋可以造得很纤细。

大沽桥位于天津市中心。大沽桥是海河区域重建规划的第一批桥梁之一。因为它的地理位置很重要,它在美观上的要求非常高,业主希望它能成为这个城市地标性的建筑。大沽桥横跨海河,海河贯穿整个城市。这条河在桥位的地方宽度大约为 96m,所以桥的跨度采用 106m,一跨过江,避免在河中设墩。桥面有六个车道和两条行人/自行车道,一边一个。桥面为变宽,两端最窄,为 32m,一直变化到到中央的 56m,包括桥面上的一些镂空。由于航道静空要求,桥面中央的横梁高度被限制在 1.4m。1.4m 的梁高跨过横向 32m 的桥宽不经济,因此拱肋被安置在行人/自行车道的内侧,两个拱肋在桥面上的横向距离是 24m。

这两个拱肋为梯形截面的钢结构。主梁为正交异性板钢箱梁,桥面铺设 50mm 的环氧沥青。

2.3 连云港淮海路大桥

淮海路大桥在江苏省连云港中,它位于城市新开发区的中央地带。美学在此桥的建设中尤为重要。此桥主跨 100m,桥面宽 39m。每个拱肋都连接有双面的吊杆。使拱肋可以造得很窈窕,见图 11。

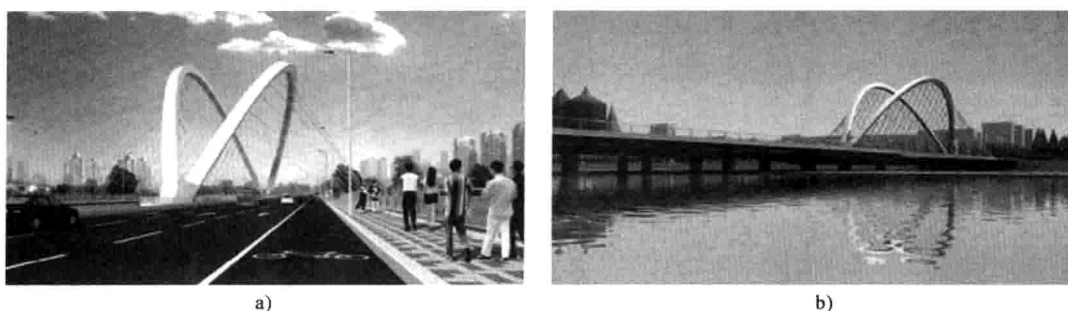


图 11 江苏连云港淮海路大桥

像大沽桥一样,淮海路大桥也有两个拱肋,每个拱肋在桥面的横向位置有两个面的吊杆。大沽桥两拱之间的距离约为 24m,桥面上的任何偏心荷载都可以通过两片拱肋传递到地基。所以,在不考虑主梁抗扭承载能力的前提下,两个拱肋都可以独自承受主梁上任何非对称荷载。然而,在淮海路大桥两个拱肋的底部聚集在主梁的中心线位置,这样的拱肋安排无法承受主梁上的非对称荷载,尤其在强风和地震等的情形下更难以承担。因此,主梁必须具有足够的抗扭刚度,把任何非对称荷载直接传递到桥墩上。因此,淮海路大桥采用了多室箱梁的截面,可以将偏心荷载引起的扭矩最终都传递到了支座上。

为了容纳三维的吊杆和拱肋,对主梁的桥面进行了加宽,桥面中间部分添加了部分镂空,增加了桥梁的美观。

2.4 沈阳市三好桥

三好桥位于沈阳市(图 12),它跨越浑河,连接两岸的新开发区。城市要求在这个位置建设一座地标性桥梁,以配合河两岸的高端住宅项目。这座桥有 100m 的双主跨,桥面宽 34m。梁高被限制在 2.4m 以满足航行要求。然而,由于预算有限,业主只能负担一个混凝土梁。在中国,钢梁的价格比混凝土梁高许多,但是钢梁要相对轻得多。为了尽量降低工程价格,这座桥的设计应用了刚研究成功的“索辅梁桥”的理念。这个设计理念,通过同时充分利用拉索体系和梁本身的承载能力,从而实现其经济效益。拉索只承载了部分桥的重量,所以桥塔可以轻盈得多。这种设计理念也允许更自由的拉索索力的选择,简化了设计。通常,一个横向的拱形垂直桥塔不是一个很理想的结构。但在三好桥的设计中,拉索部分只承担了大约 50% 的荷