

QIAOLIANG JIEGOU QINGXINGHUA YU ZAOXING YISHU

桥梁结构



轻型化与造型艺术

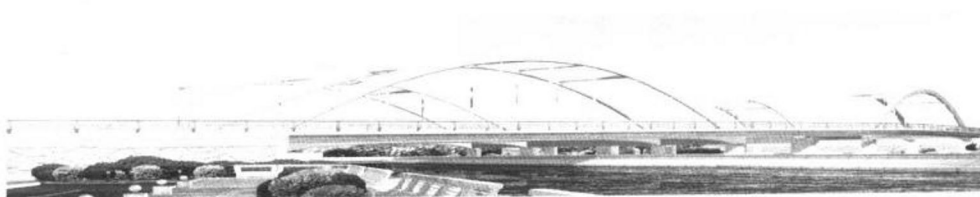


金成棣 薛二乐 金淮尹 著



人民交通出版社
China Communications Press

桥梁结构 轻型化与造型艺术



金成棣 薛二乐 金淮尹 著



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书为我国桥梁界资深专家金成棣教授的桥梁创作图集，主要介绍了桥梁结构轻型化及桥梁造型与周边环境的协调，包括轻型混凝土拱桥，梁拱组合桥梁——系杆拱、梁索组合结构、桥梁造型艺术探索和桥梁渲染图等内容。

图书在版编目 (C I P) 数据

桥梁结构轻型化与造型艺术 / 金成棣, 薛二乐, 金淮尹著. —北京: 人民交通出版社, 2001. 12
ISBN 7-114-04139-X

I. 桥... II. ①金... ②薛... ③金... III. ①桥梁结构—结构设计—研究②桥梁结构—造型—研究
IV. U443

中国版本图书馆CIP数据核字 (2001) 第087946号

桥梁结构轻型化与造型艺术

金成棣 薛二乐 金淮尹 著

责任印制: 张凯

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

中国电影出版社印刷厂印刷

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张: 10.5 字数: 256 千

2002年3月 第1版

2002年3月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—2000册 定价: 70.00元

ISBN 7 114-04139-X

U · 03028

序

《桥梁结构轻型化与造型艺术》一书是金成棣教授在《预应力混凝土梁拱组合桥梁——设计研究与实践》一书出版后的又一部桥梁专著。书中图文并茂,大部分内容反映了作者毕生从事桥梁设计的创作以及有关施工的照片,并相应地做出了概略说明,书中还选登了同济大学桥梁系青年教师薛二乐讲师所完成的桥梁效果图。

随着改革开放的继续深入,我国交通事业的建设相应发展较快,特别是在扩大内需、加强基础设施建设政策的正确导向下,桥梁建设的规模与投资额创造了历史最高纪录。不少城市与地方希望新建的桥梁不仅是交通设施,同时也为当地增加人文景观,尤其重要的是桥梁的造型与布局必须与城市地方的景观相协调。

我国中小跨径的桥梁量大面广,在平原地区过去多数采用梁板结构,但这种单一的桥型远远不能满足人民群众的要求。金成棣教授长期从事混凝土拱桥以及预应力混凝土桥梁的研究与设计,他在拱桥设计理论与混凝土徐变对结构内力与变形的影响等研究成果已广泛应用到桥梁设计中。在此基础上,结合平原地区要求结构轻型、造型美观的建桥特点,他系统地创作设计了预应力混凝土梁拱组合系列、拉板桥以及自锚式混凝土悬索桥等多种形式,所设计的桥梁受力合理、施工方便、造价低廉,深受业主欢迎。

金成棣教授是我大学时代的班主任,又是结构力学的辅导老师。他的人品和学识都深受我们55届同学的尊敬和爱戴。虽然他在1957年受到不公正的对待而被迫离开了同济,历尽坎坷,但他在上海市政工程设计院的15年设计经历,却使他得到了理论和实际相结合的机会,从而创作了许多优秀的、具有很高的借鉴和参考价值的中小跨度桥梁设计作品。

人民交通出版社决定组稿、出版《桥梁结构轻型化与造型艺术》一书,这是对桥梁事业发展很大的支持,必将有助于这类桥型的推广应用,从而引导桥梁技术人员在确保安全的前提下把我国的桥梁设计建造得更省更美。

中国工程院院士、教授

项海帆

写于同济大学

2001 年 10 月 28 日

前言

2000年,笔者编著的现代桥梁技术丛书之一的《预应力混凝土梁拱组合桥梁——设计研究与实践》一书出版以来,内心总有一种意犹未尽的感觉。就书的内容而言,偏重于设计计算,而建桥的重头戏施工则写得实在太少了;就书的出版质量而言,出版社的编辑们花费了大量精力,编排、印刷、装潢质量总体是满意的。但有一点,所有渲染图片及照片,除封面外,全是黑白的,无法显示出这类桥梁轻巧美观的魅力,为此,总想有所补偿。幸好得到人民交通出版社进一步支持,同意出版一本画册,因此,重又鼓起我这位桥梁老工作者的冲动,决定编辑出版我的桥梁设计创作图集;同时推出青年教师薛二乐等同志制作的桥梁渲染图。回顾过去,我在桥梁设计方面,创作的重点主要是桥梁结构轻型化,以适应于软土地基建桥的需要;建筑高度薄型化,以适应平原地区建桥需要,特别是城市桥梁要研究桥梁结构的造型与环境的协调;同时考虑了桥梁施工技术地区化,便于当地一般施工队伍能胜任施工;在确保桥梁安全适用的前提下达到降低造价的目的。凭此认识,将本画册取名为《桥梁结构轻型化与造型艺术》。全书以照片及渲染图为主,重点选择一些具有代表性的施工方法,以照片或施工示意图形式呈现给读者。我所主持设计的桥梁,其规模属于中小跨径,这是个人经历所限,希望读者体谅。

为了使读者对这本画册有更深的认识,我有意将本人从事桥梁设计的简历向读者介绍,这将有助于读者深入理解作者创作本画册的意图,以求鼓励青年读者为我国建桥技术能更上一层楼而大胆创作求新。

我从1953年进入同济大学桥隧教研室以来,这一辈子与桥梁事业结下不解之缘。随着我国社会主义建设的发展,我本人经历了不同的历史阶段。但不管作者在政治上受到多大的冲击与压力,经历怎样坎坷,工作岗位怎样变迁,都始终围绕桥梁专业从事教学、科研与设计工作。1964年我从教学岗位转入设计部门,在上海市政工程设计院工作了15年,多多少少完成了一些设计与科研任务。限于当时历史条件,没有做出显著的贡献,但在熟悉桥梁设计的专业知识方面踏踏实实奠定了初步的基础。之后,于1979年调入同济分校(后改为上海城市建设学院),我又重登讲台,从事自己所热爱的桥梁教育事业,全身心投入到学校的创建与管理工作中,在教学方面注重理论与实践紧密联系。当时,因本专业的教师多数来自生产岗位,我要求他们一方面要加强基础理论的补充提高,熟悉教学内容与方法;同时也要对生产实际紧抓不放,不放弃各人原有的特色。在此期间,完成了一系列桥梁设计任务,为上海市重大工程建设做出了贡献。通过我们的言传身教,学院毕业的学生动手能力能够满足社会的需要,受到社会欢迎。本人被评为上海市1981年度的劳动模范,1989年被国家教委授予国家级教学优秀奖。1991年我离

休后,仍念念不忘桥梁事业,亲自到一个二级企业的施工队当顾问,直接参与了施工。在邓小平同志南行讲话精神的感召下,为了进一步发挥自己余热,继续为桥梁事业添砖加瓦,我重新拿起画图工具,参加并主持多座桥梁的设计创作。《预应力混凝土梁拱组合桥梁——设计研究与实践》一书中已介绍了我离休后设计的大部分桥梁。后来,我在家乡嘉兴承担了该市重点工程勤俭大桥设计审查与施工技术指导工作。同时,我也是我国斜拉桥设计研究较早的参与者之一。早在1976年重庆长江大桥初步设计阶段有几个斜拉桥方案,我是主要设计人员,当时由于各种原因方案未被采纳;在我编写的《结构静力学·下册》(1980年出版)中,专门有一章写斜拉桥的结构分析,当时由国内学者撰写的关于这方面材料并不多见。建设勤俭大桥时,本人虽说没有机会直接参与斜拉桥的设计与施工,但仍为能有这样的机会为家乡服务而感到由衷的高兴。虽然这座斜拉桥规模并不大,但我们认真从事,与当地的设计施工部门共同合作,勤俭大桥投入运营至今未见有裂缝发生。此外我还为诸暨浣江大桥提出了一个自锚式钢混结构的悬索桥方案,被当地主管单位所接受,并由林同炎李国豪土建工程咨询设计有限公司完成施工图。最近我又为诸暨完成了浣纱大桥的板拉桥设计,有关施工阶段的场景与竣工后的照片,均被收入本画册。

这些桥梁设计构思,我是本着以下思路进行的:桥梁设计是社会文化的有机组成部分,它也有一个继承与发展、继往开来的过程,要求中华传统文化与新兴科学技术相结合;造型艺术与力学平衡相统一;传统技艺与先进工艺相融合;桥梁功能与环境景观相协调。我与周围同志所完成的设计始终贯彻上述思路,并得到社会认可。梁拱组合桥梁系列,主要包括斜港大桥、云梨大桥、坛丘大桥及奔牛大桥等四座桥,反映了我们当时的成就,被教育部评为1998年市政工程优秀设计一等奖,其后的鉴湖大桥被评为2000年市政工程优秀设计一等奖。我是年过七十五的人,这些荣誉于我而言不过是过眼烟云,但对我周围的年青人来说是一种很珍贵的鼓励,说明我们过去的努力是成功的。中国是一个多山的国家,又是河网纵横、江河贯穿的国家,桥梁事业将大有可为。我们鼓励年青人积极进取,充分发挥我中华儿女的聪明才智,勇于创新,为桥梁事业的发展再谱新篇,为此我将所做过的桥梁设计创作成果以及部分他人的作品择优汇集成册,多少想给后人留下一些启示,以供切磋、探讨,并殷切希望我们的后辈,能努力做到百尺竿头,更上层楼。

最后我向读者推荐我的同事薛二乐老师,他是同济大学桥梁工程

系的教师，专业方向是桥梁景观设计。他在我国较早研究、推广CAD技术并应用于桥梁设计业务中，在第五章中罗列了他的部分作品。他于1993年起投身于建筑工程的计算机表现的研究、教学与制作，包括电脑渲染图和电脑动画的制作。他的作品参加过《中国首届计算机艺术会议暨展览》，获得第一名；也参加过《上海国际住宅设计竞赛》，获佳作奖；其建筑动画作品曾被美国AutoDesk公司收录于Demo中，他本人被邀请为AutoDesk大学专业主讲。无论桥梁和建筑设计的表现，每一个项目他都倾注很大的热情和精力去领会设计师和建筑师的精神，去满足他们对表现的需要量，并精确地、真实地反映设计特色，受到委托人的信任与好评。他为作者创作的桥梁设计方案做了大量表现图，其中不少桥梁已建成。为了表彰他的成就，在本画册中将他所作桥梁方面渲染图汇成一章。作者认为：薛二乐制作的表现图是严格根据结构图绘制的，因此形象逼真；同时配以朴实无华的色彩，更突出桥梁主体部分的造型。桥梁由于它的建筑特性，一般是桥位附近的重要景点，所以，薛二乐的作品不仅能充分表达出原设计造型优美，同时注意环境设计，将计算机上虚拟的桥梁表现得极其逼真，给人们以身临其境的感受。

在本画册的编写过程中，金淮尹工程师承担了资料的技术处理、整理与编辑工作，没有他的参与，本画册的出版几乎不可能。嘉兴市月明桥梁维修咨询有限责任公司陈月明经理为本书出版提供了不少帮助，提供了与他相关的桥梁照片，并在施工技术说明上给予了指导。本画册的照片收集以及文字说明工作量较大，许多朋友为此付出了热情和精力，如同济大学易建国教授、赵立诚高工、郭文复教授、倪立群高工、张振元高工以及海宁水利勘测设计所贾桂兰所长等，对本画册出版功不可没。借本书出版之际，对于曾经大力支持我出版这本画册的单位及相关的领导，其中有林同炎李国豪土建工程设计咨询有限公司、同济建筑规划设计总院市政分院、嘉兴市月明桥梁维修咨询有限责任公司、海宁水利勘测设计所、无锡桥梁工程公司、吴江市明港道桥工程公司、腾达建设集团股份有限公司、诸暨市桥梁工程公司等，在此一并表示深切感谢！

金成棣

2001年10月

目 录

catalogue

第一章 轻型混凝土拱桥

第一节 京杭运河上的石拱桥	2
第二节 双曲拱桥	4
一、福建路桥	4
二、东栅桥	6
三、东高桥	7
四、斜桥之一	8
五、斜桥之二	8
第三节 箱形拱桥	9
一、羔羊桥	9
二、硤狮桥	9
第四节 桁架拱桥	10
一、长山河	10
二、南湖桥	11
三、东风桥	11
第五节 圆洞拱桥	12
第六节 刚架拱桥	13
一、撑架桥	13
二、新塘桥	14
三、金城桥、金匱桥及下甸桥	16
四、常见刚架拱桥	18
五、刚架拱的变体	20
第七节 中承式肋拱桥	21
一、茅桥	21

二、庆云桥	22
三、梅堰桥	22
四、横林桥	23
五、铭选桥	25
六、玉融桥	25
七、石潭溪桥	26
第八节 拱桥改建	27
一、曹娥江公路桥	27
二、连续桁架拱改建	29

第二章 梁拱组合桥梁

——系杆拱

第一节 简支梁拱组合桥梁——系杆拱32

一、宾王桥	32
二、斜港桥	38
三、尹山桥	43
四、江海河桥	44
五、乌桥港桥与菜花泾桥	46
六、长纤塘桥	49

第二节 单悬臂梁拱组合桥梁 56

一、汾湖桥	56
二、屯浦桥	57
三、金牛桥（奔牛东桥）	58
四、新运河桥	60

第三节 连续梁拱组合桥梁 62

一、云梨桥	63
二、友联桥	66
三、黎里东桥	72
四、坛丘桥	74
五、塘桥	78
六、砖莘公路跨线桥	79
七、怀德桥	84
八、鉴湖桥	88
九、碧云桥	93
十、落帆亭桥	100
十一、漕溪北路轻轨桥	102

第三章 梁索组合结构

第一节 浣江桥 106

第二节 斜拉桥 108

一、勤俭桥	108
二、斜拉桥事故实例	111

第三节 板拉桥 114

第四章 桥梁造型艺术探索

第一节 桥梁色彩的选择 121

一、怀德桥	121
二、鉴湖桥	122
三、嘉兴东升东路桥梁	123
四、曹娥江公路桥	124
五、尹山桥	124
六、宾王桥	125
七、江海河桥	125

第二节 桥梁立面线条处理 126

一、上海乍浦路桥	126
二、东高桥	127
三、乌桥港桥	127
四、鉴湖桥	128
五、勤俭桥	128

第三节 桥头建筑处理 129

一、桥台与桥头锥坡	129
二、桥头绿化	130
三、桥头建筑小品	131

第五章 桥梁渲染图

第一节 梁拱组合桥梁 132

第二节 斜拉桥及跨海大桥方案 133

第三节 其他 133

第一章 轻型混凝土拱桥

从古至今,拱桥是我国建造较多的桥型之一。无论山区与平原地区,均有适合当地条件的各种形式拱桥的创建。其中适合于软土地区的混凝土拱桥,由于其建筑材料来源广泛、施工技术要求较为简单、造价低廉,曾被广泛应用。但是混凝土拱桥自重大,在平原地区上承式拱桥采用小矢跨比 $f/l=1/6\sim 1/10$ 的拱桥,水平推力大,使得桥台设计存在一定的难度。作者于20世纪60~70年代在上海市政工程设计院工作期间,曾与共事的同仁共同探索轻型混凝土拱桥的形式与设计理论,旨在减轻自重,提高承载能力;

同时对软土地基的拱桥桥台从形式与构造、受力机理等方面,不断探索,设计了一系列轻型混凝土拱桥;

并借鉴古代石拱桥桥台抵抗水平力的措施,对桥台形式的不断改进,创立了组合式桥台变形协调的设计理论,理论的原则已纳入《公路砖石混凝土桥涵设计规范》(JTJ 022-85)第五章墩台第5.2.3条。作者与无锡桥梁工程公司合作,于20世纪80年代共同设计了跨径100m的刚架拱桥,创造了软土地基最大跨径的混凝土拱桥。本章将作者在20世纪60~80年代设计的轻型混凝土拱桥桥型以照片形式向读者介绍,其中有些桥型至今仍可推广应用。

本章还介绍了由福州大学陈宝春教授提供的钢管混凝土拱桥的照片。钢管混凝土拱桥自问世以来,由于它解决了大跨度混凝土拱桥施工时的拱架与模板,同时又作为拱肋受力的部件,具有较好的技术经济指标,因此这种桥型被迅速推广使用。

本章最后两个实例,介绍了混凝土拱桥改建的经验。



第一节 京杭运河上的石拱桥

京杭大运河流经杭嘉湖、苏锡常平原地区，为了维持陆上交通，建造了不少桥梁。在古代，限于当时的历史条件，无论是建筑材料以及施工技术，其主要桥型为石拱桥，如图1-1、图1-2所示。透过桥洞，远眺河光山色、往来船只，桥型之美一览无遗，艺术成就达到了当时无可比拟的高超水平。古代匠人精巧的建造，使雄伟的大运河镶上光辉的彩带，它是中华灿烂文化的一部分，是古代文明的瑰宝。构造细节均是上乘之作：圆型桥洞，矢跨比大多数超过 $1/2$ ，使水平推力减至最小；桥下净空放大，使过往船只不倒帆杆；拱圈采用直砌及横砌的弧型条石，形成拱圈；拱圈背上两外侧平砌石板，其间填以块石形成护拱；侧墙顶铺斜条石，其上设置石护栏，其间铺设石级，以较缓的坡度延伸到沿河岸道路；拱圈脚段落在承台上，承台由巨石组成，承台下为密排木桩，引道两侧设石砌挡土墙，墙基一般为密集木桩。

图1-3是浙江省桐乡县境内的西双桥，压缩大运河而建的单孔石拱桥。据传当时建造西双桥时，采取填河用泥胎做支架砌筑拱圈，在桥位南侧开凿临时航道，至今仍有遗迹。

图1-4表示了沿大运河的纤道桥。当时船的动力依靠自然风力，在无风或背风时依靠人力，纤夫背拉纤绳，拖船前进。

由于水上航运事业的发展，京杭大运河仍成为现代建设中重要水上交通枢纽，在平原地区大运河上古代建造的桥

梁，严重影响航运畅通，已全被拆除。特别是京杭大运河整治过程中，统一规定了航道的净空，凡不符合通航净空要求的桥梁都被拆除重建，因此，古代石拱桥的文化瑰宝，目前所剩无几。以后要了解这类拱桥，只能见于专著及有关技术文献了。

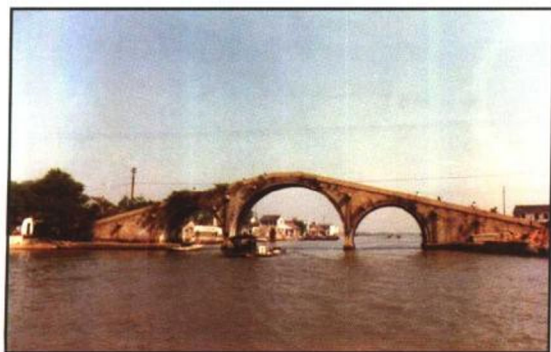


图1-1

原石拱桥——京杭大运河



图 1-2
石拱桥(二)
(京杭大运河)

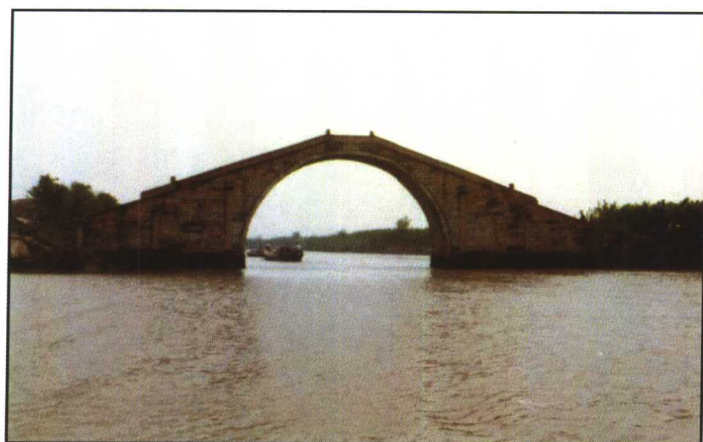
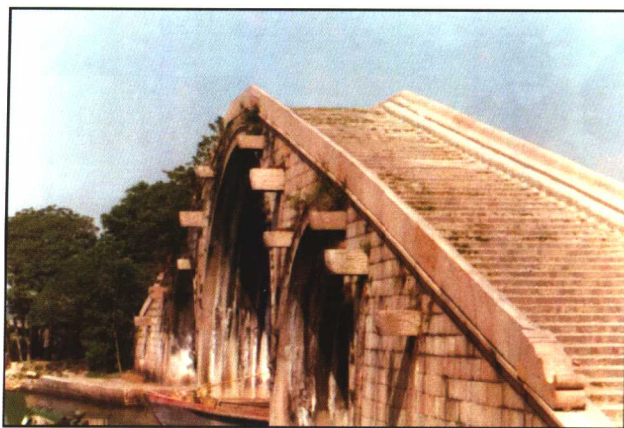


图 1-3
西双桥
浙江省桐乡县

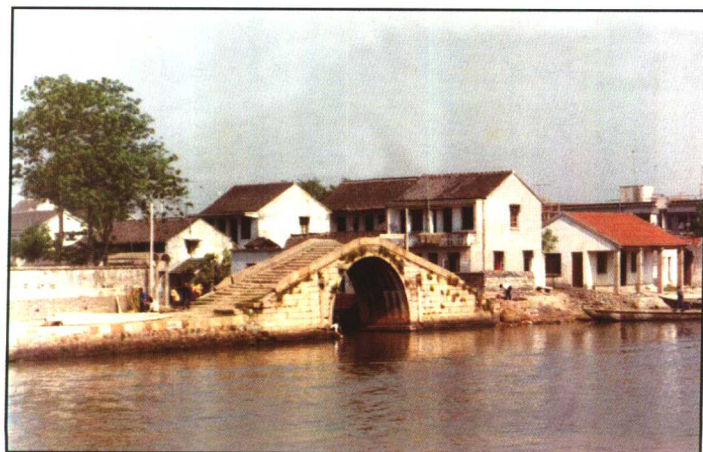


图 1-4
纤道桥
(京杭大运河)

第二节 双曲拱桥

一、福建路桥

福建路桥是位于上海市区跨越苏州河上的一座非机动车桥梁。该桥由上海市政工程设计院学习外地建造双曲拱桥的经验,并通过一系列科学实验,在上海市区软土地基上建造的一座双曲拱桥。该桥由上海第一市政工程公司施工,于1968年竣工。图1-5、图1-6展示了该桥的全景。

为了探索软土地基混凝土拱桥的修筑经验,作者进行了承台摩阻力试验、土抗力试验、钻孔灌注桩抗推刚度的试验,以及桥墩整体顶推试验。通过试验,得出了如下认识:摩阻力产生伴随着一定位移,即土体受水平表面力的变形;台背土抗力既非主动土压力,也非被动土压力,土体受横向力时,在横向荷载未达被动土压力时,即没有达到被动土压力的破坏棱体;台背土产生纵向及斜向裂缝,即一般材料受压时泊松现象,此

时挡土板后土体严重变形,实际上其上部结构此时已遭致破坏;摩阻变形远比土抗力变形小。在有限位移条件下,按变形协调观点来分析,摩阻力将承担大部分的水平力。基底极限摩阻力随着预压时间延长而提高,而振动地基会加速滑移,在承台与基础间存在局部真空,一旦振动局部真空破坏,摩阻能力就会降低。桩承受水平力的试验,测出桩承担水平力与水平位移的关系曲线,验证 m 法,发现该法的 m 值随水平位移的增大而迅速下降。桥墩存在双排桩时,前后桩抗水平推力的能力有很大的差异。通过系列试验,得出如下认识:在软土地基设计承担水平推力的桥台,



图 1-5
福建路桥全景(一)



图 1-6
福建路桥全景(二)

桩承担水平力很有限，主要依靠摩阻力。为此，在福建路桥设计中，在河中主墩以钻孔灌注桩为基础，承担恒载活载垂直反力；而水平推力由水平支撑传至桥台，桥台为扩大基础，台后设置大体积混凝土的摩阻板。为了降低桥台后移使桩承担位移弯矩，对桥墩通过支撑进行顶推。基础施工时，由于原有福建路老闸基下沉并向下游滑移100多米，钻孔灌注桩发生困难，后用冲击钻成孔。上部结构利用贝雷桁架吊装拱肋及铺装拱波，当拱肋合拢后，施工荷载由拱负担，贝雷桁架只对提高拱的稳定性起作用。该桥采取埋入式倒T型拱肋、纵向排架等处理，以减轻重力及拱的整体性，参见图1-7~图1-9。

从图1-5、图1-6看到在桥墩附近建了许多高层，这在建桥时是没有的。由于这些高层大楼出现，地面发生了沉降，使桥台随之沉降，而桥墩是深基础，基本上没有影响，这种不均匀沉降使支撑拱倾斜，改变了力的作用点，使主拱圈严重开裂，导致该桥成为危桥。经专家及有关方面鉴定，该桥决定拆除重建。可见，在软土地基上建桥应避免墩台采取不同形式基础。



图 1-7
福建路桥施工图(一)



图 1-8
福建路桥施工图(二)

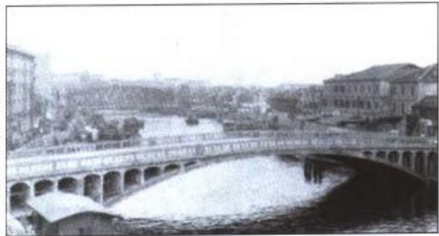


图 1-9
福建路桥远景



图 1-10
苏州河沿整治后的福建路桥

图1-10展示了苏州河沿整治后，福建路桥的景观，使福建路桥旧貌换新颜。但煤气管道拦腰凌空而过，对景观造成不利影响。

二、东栅桥

东栅桥是位于浙江省嘉兴市车站港至平湖的市河上，在拆除原有石拱桥旁边建造的一座轻型双曲拱桥。该桥由上海市政工程设计院设计，嘉兴桥梁队施工，于1973年竣工。该桥特点是拱圈采用整体波，波厚10cm，边肋20cm×20cm，二者成整体预制。全桥分七段，吊装在支架上现浇接头，拱上建筑为纵向排架。桥台采取浆石砌块石沉井与连续挡土墙组成组合式桥台，沉井平面形状为半圆加矩形的封闭圈。台帽支在沉井及挡土墙上。

图1-11展示了该桥的全景，图1-12展示了整体波拱圈。



图1-11
东栅桥全景是浙江省嘉兴市



图1-12
东栅桥整体波拱圈

通过对东栅桥建成后进行几天的温度变化与拱轴线变形的相关测量，作者得到几点认识：结构体实测时程变化总是滞后气象温度的时程变化，滞后时间与结构体型有关，对于轻型混凝土拱桥，滞后时程约1h多一点，而且结构体的最高温度总是低于气象温度的最高温度，同时高于最低温度。拱轴线变形，竖向挠度为：

$$\delta_y = \alpha_t(LH+y)$$

式中： H —结构水平推力影响线；

L —跨径；

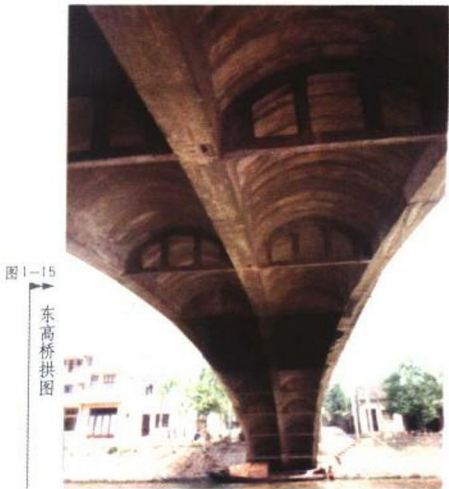
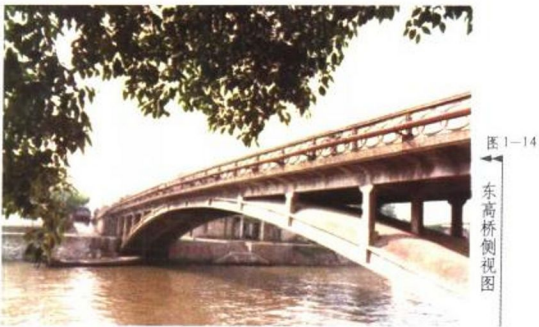
t —结构温度；

y —拱轴线相应于测量点的纵坐标。

三、东高桥

东高桥是位于浙江省桐乡县石门镇跨越京杭运河，跨径为50m的轻型双曲拱桥。东高桥由上海市政工程设计院设计，桐乡县水工队施工，于1973年建成；但在1999年大运河整治时，因不满足通航净空而被拆除。上部结构主拱圈为倒T型拱肋与T型拱背混凝土组成，拱上建筑采取等截面连续梁。下部结构采取矩形浆砌块石沉井井身，钢筋混凝土刃脚与台背摩阻板组成组合式桥台，竣工后桥梁如图1-13~图1-15所示。该桥建成后经同济大学桥梁系试验室荷载试验，取得了与设计计算比较吻合的成果。

该桥桥型不同于一般双曲拱，拱上建筑为等截面，线条简洁明快。拱圈的拱肋外形是工字形，在立柱节点处扩大与上下翼缘平齐，使全桥避免了单调，具有一定的节奏感。拱圈的面积工字形拱肋占主要部分，建成后刚度大，拱波与拱肋结合良好，具有较高的承载能力。



四、斜桥之一

盛产榨菜的斜桥镇，位于浙江省海宁市之西。洛塘河穿越该镇，联络两岸交通，河上建有多座桥梁，其中轻型双曲拱桥穿越镇中心，点缀了市容。该桥主拱圈为拱肋与拱波组成，拱上建筑为纵向排架，如图 1-16 所示。这类桥梁在海宁市内为数甚多，遍布境内各地，在此择其一以供读者参考。

五、斜桥之二

在图 1-17 显示了斜桥镇上另一座双曲拱桥，拱上建筑采取大空间拱波。这类桥型自重较轻，但需要良好地基

条件，因为这类拱上建筑对地基变形特别敏感，一旦桥台有微小变形，拱波顶下缘很容易出现裂缝。



图 1-16

双曲拱桥(一)斜桥镇



图 1-17

双曲拱桥(二)斜桥镇