

上海大型市政工程设计施工丛书

卢浦大桥工程



上海市建设和管理委员会
科学技术委员会

UPUDAQIAOGONGCHENG



上海科学技术出版社

U448.22
C7

U448.22/C7

上海大型市政工程设计施工丛书

卢浦大桥工程

上海市建设和管理委员会科学技术委员会

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

卢浦大桥工程/上海市建设和管理委员会科学技术委员会编. —上海:上海科学技术出版社, 2004. 4
(上海大型市政工程设计施工丛书)
ISBN 7-5323-7406-8

I. 卢… II. 上… III. 钢桥:拱桥—桥梁工程—简介—上海市 IV. U448.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 002315 号

世纪出版集团出版发行
上海科学技术出版社

(上海瑞金二路 450 号 邮政编码 200020)

新华书店上海发行所经销

上海华成印刷装帧有限公司印刷

开本 889×1194 1/16 印张 17.25 插页 12

字数 498 000

2004 年 4 月第 1 版

2004 年 4 月第 1 次印刷

印数:1—1 550

定价:180.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,
请向承印厂联系调换

内 容 提 要

卢浦大桥是上海“十五”期间开工建设的全钢结构特大型跨越黄浦江桥梁,是当今世界上在单座桥梁建造中采用的施工工艺最多、科技含量最高的钢拱桥,是代表和体现上海最新桥梁科技和城市发展水平的重点工程。

本书分别介绍了大桥总体设计、主桥结构设计、引桥设计、大桥建筑设计、电气设计、交通监控系统设计、主桥施工、科研与新工艺。

本书由设计、施工单位撰稿,图文并茂,内容丰富,可为设计、施工、科研、院校等单位从业人员提供借鉴与帮助。

上海大型市政工程设计施工丛书

卢浦大桥工程

编辑委员会

(以姓氏笔画为序)

丁 浩	丁佩良	马 磊	马崇礼	王莲玲
朱 俊	任大德	陈 康	陈建庭	吴欣之
周 良	林元培	范庆国	赵 俊	姚根洪
章曾焕	蔡忠明			

顾	问	聂成根	应名洪	徐君伦
主	编	沈 恭	任大德	
常务副主编		王莲玲		
编 辑 部		朱 俊	陈建庭	高 芳 王晓鸿
照 片 提 供		上海卢浦大桥投资发展有限公司		

《卢浦大桥工程》撰稿人

(名录不分先后)

序

林元培

综 述

马 磊

工 程 概 况

王莲玲

工 程 设 计

马 磊	岳贵平	周 良	卫 东	卢永成	吴之光
朱以凡	赵 旻	翁思熔	邵慧燕	龚建峰	方亚非
张俊杰	徐 俊	袁 丁	彭 俊	何晓光	高志民
张侃瑜	李 明	富松祥			

工 程 施 工

丁 浩	秦宝华	王晓鸿	林 海	顾海欢	蔡忠明
蒋金康	胡斌逸	倪志刚	高继领	楼国龙	杨武厂
薛卫新	程超声	杨静霞	高 芳	朱王怡	严均蔚
刘 峰	吴雄安	洪 琪	巨继东	王继续	倪拥军
夏 卫	毛秀芬	王晶华			

工 程 科 研

林元培	冯紫良	方亚非	章曾焕	王心芳	赵 旻
史家钧	臧 瑜	马 磊	龚建峰	孙东超	丁 浩
秦宝华	蔡忠明	顾海欢	高振峰	王晓鸿	周 良
邓景纹	朱红蕾	葛耀君	应振翔	胡世德	姚根洪
王莲玲	陈仕周	张 华	顾心愉	丁佩良	倪志刚

《卢浦大桥工程》

参建单位名录(不分先后)

设计单位:上海市政工程设计研究院

上海市城市建设设计研究院

上海交通设计所

上海大学

上海市园林设计院

施工单位:上海建工(集团)总公司

江南造船(集团)有限责任公司

上海市基础工程公司

上海市第一建筑有限公司

上海市安装工程有限公司

上海电力安装第二工程公司

重庆市智翔铺道技术工程有限公司

上海隧道工程股份有限公司

上海市第七建筑有限公司

中港第三航务工程局

上海市第一市政工程有限公司

红润建设集团股份有限公司

中国第三建筑工程局

上海远东国际桥梁建设有限公司

科研单位:上海卢浦大桥投资发展有限公司

上海市政工程设计研究院

上海建工(集团)总公司

同济大学

江南重工股份有限公司

重庆交通科研设计研究院

上海市城市建设设计研究院

建设单位:上海卢浦大桥投资发展有限公司

股东单位:中国船舶工业集团公司

上海中福城市投资建设有限公司

江南造船(集团)有限责任公司

上海工业投资(集团)有限责任公司

上海黄浦江大桥建设有限公司

上海远东国际桥梁建设有限公司

序

林元培

2003年6月28日,卢浦大桥顺利通车,它是一座中承式拱桥,跨度为550m。其跨度超过目前世界上两座经典的拱桥,即美国西弗吉尼亚州的新河谷桥(跨度518m)和澳大利亚悉尼港湾桥(跨度503m)。

上海黄浦江上之所以建了三座斜拉桥,主要是从经济上考虑。随着改革开放,人们的欣赏品味在提高,这第四座桥是否再做斜拉桥很值得考虑。一跨过江不做斜拉桥还有两个方案:即悬索桥方案与拱桥方案。悬索桥由于需在上海软土地基上设置锚碇,价格昂贵而被淘汰,剩下只有拱桥方案。而做拱桥方案需解决两个基本问题:一、在软土地基上,巨大的水平推力如何处理;二、做桁架式拱桥还是做全焊结构拱桥。前者可通过设计强大的水平钢索平衡水平推力解决,后者因为桁架式多为轧制钢构件与锚(栓)钉相连构成结构,在20世纪初叶颇为盛行;而焊接结构为钢板与焊接构成结构,在20世纪中叶后,由于构件大小几乎不受限制而开始逐渐发展。由于焊接构件的断面往往可以做得很大,导致结构物线条简洁流畅。卢浦大桥设计的本意除了解决交通需要外,在经济允许的前提下,还要为上海增添新的景观,为此我们决定采用全焊结构拱桥。

此时,拱桥设计摆在我们面前有两个难点:第一,必须打破拱桥跨度518m的世界记录;第二,要采用全焊接钢结构。

为克服上述两点困难,需解决以下几个问题:一、全焊钢箱断面是5m宽,9m高,钢板厚20~50mm,为典型的闭口厚壁构造,在运营状态下其结构总体是否稳定?二、钢箱局部稳定及重要节点构造分析:由于焊接残余应力的存在,单用有限单元的分析是不够的,需用实验校正。三、施工控制问题:除需对拱的空间曲线正确定位,

保证合龙外,还需将施工中的斜拉体系转化到拱桥体系,体系转换中不能出任何问题。四、地震时保证结构安全,用高效阻尼器消震。五、12级台风来临时,拱未合龙,应采取必要措施,安全度过台风期。六、拱的分段吊装问题。七、水平拉索及梁体的安装问题。八、钢结构制造工艺。

上述几个问题在上海市科委均立了科研课题,并已应用于工程中。在上海市政府领导下,经过设计、科研、施工、制造、管理各方面的通力合作,已于2003年6月建成了卢浦大桥。

综 述

马 磊

1. 拱桥发展简史

人类架设桥梁的发展经历了由简单到复杂、由低级到高级的漫长过程。时至今日,完善的功能、高新的材料、先进的技术等诸多方面,已经使桥梁不仅成为“通济利涉”的交通工具,更成为先进科技发展的载体、城市凝固的标志性景观。

在桥梁八大桥型中,拱桥是较为古老的品种。对拱形结构的起源,学界多认为是自然界水力对岩石长期侵蚀而形成的天然石拱,著名的如我国云南省大理的天生石拱、法国阿尔代斯省的天生拱、美国列克星敦的天生拱等。中国石拱桥的历史记录,较早且较能确定的是《水经注》,其记载“凡是数桥,皆垒石为之,亦高壮矣,制作甚佳,虽已时往损功而不废行旅。”朱超石与其兄书云:“桥去洛阳营六七里,悉用大石,下圆以通水,可受大舫过也。”从文中可了解,其所描述的应是一座石拱桥。

经过历代战乱、自然灾害等人为或自然的破坏,目前国内存世的石拱桥不早于隋朝,其中最为著名的即为位于河北省石家庄市东南 45km 处的赵县安济桥。安济桥坐落在赵县城南洺河之上,因赵县古称赵州,所以又称赵州桥。又因大桥以石砌造而成,故当地俗称大石桥,1961 年被国务院列为第一批全国重点文物保护单位。1991 年,美国土木工程师学会将安济桥选定为第 12 个国际历史土木工程的里程碑。安济桥建于隋代开皇十五年至大业元年(595~605 年),由匠师李春监造,距今已有 1 400 年的历史了。该桥结构坚固,雄伟壮观。全长 64.4m,拱顶宽 9m。大桥的设计完全合乎科学原理,施工技术堪称巧妙绝伦。唐代中书令(宰相)张嘉贞在《赵州大石桥铭》中说它“制造奇特,人不知其所为”。从整体来看,是一座单拱桥,拱长达 37.02m,在当时可算是世界上最长的石

拱。桥洞不是普通半圆形,而像一张弓,桥面平坦宽阔,成为“坦拱”,兼顾了水陆交通,方便了车马运行。这一石拱是由 28 道拱圈纵向并列砌成,每道拱圈可独立站稳,自成一体,既便于施工,又便于单独修补。这样大跨度的坦拱,对桥台水平推力很大,建造难度高。而桥台却是既浅又小的普通矩形,厚度仅 1.549m,由 5 层排石垒成。其地基是承载力较小的亚黏土。在这样的地基上,用这样小的桥台,建这样大跨度的石拱桥,在世界上是罕见的。安济桥最大的科学贡献,则在于它的“敞肩拱”的创造。在大拱的两肩,砌有 4 个并列的小拱,既增大流水通道,节省石料,减轻桥身重量,又利于小拱对大拱的被动压力,增强了桥身的稳定性。这就有力地保证了安济桥在 1000 多年的历史中,经受住无数次洪水冲击,8 次大地震摇撼,以及车辆重压,千载如一日,至今仍巍然挺立在洹河之上。安济桥在桥梁建筑史上占有重要的地位,对我国后代桥梁建筑有着深远的影响,尤其是“敞肩拱”的运用,实为世界桥梁史上的首创,是世界上第一座敞肩拱桥。在欧洲,直到 1883 年,法国在亚哥河上修建的安顿尼特铁路石拱桥和卢森堡建造的大石桥,才揭开欧洲建造大跨度敞肩拱桥的序幕,比安济桥晚了近 1300 年。西方桥梁专家也都认为,安济桥敞肩拱建筑,堪称现代许多钢筋混凝土桥梁的鼻祖,开了一代桥风。

此后在我国的隋、唐、宋、元、明、清各朝代,都建造了很多著名的拱桥。

建于中唐时代的苏州宝带桥,是现存最长的多孔薄墩连拱桥(计 53 孔,全长达 316.8m),志载为唐代刺史王仲舒卖掉所束宝带以助工费,故此得名。该桥如千尺卧虹,巧夺天工。

始建于金世宗大定二十九年(1189 年),完成于金章宗明昌三年(1192 年)的北京广安门外卢沟桥,桥身全长 212.2m,为 11 孔不等跨圆弧。石作细致,构造精良,时至今日,仍然可以满足现代交通工具的使用。

而世界上现存最古老的拱桥是位于法国境内著名的加尔德(Gard)水道桥,建于公元前 63~13 年间,虽历经 2000 多年沧桑,仍然以其粗犷、古朴、充满原始魅力的风貌屹立于世。该桥分 3 层做拱,底层 7 孔、中层 11 孔、顶层 35 孔为水道,最大跨度 24.4m,总长为 300m,总高 47.4m,底层桥面于 13 世纪扩宽后为 22.4m,辟为公路

用桥。全桥体量空间组合很有规律,比例尺度和谐,加上使用黄色石灰岩砌筑,在翠绿色自然景色的衬托下构成极美的景观,不能不令人叹为观止!

18 世纪工业革命以后,随着科学技术的飞速发展,新的计算手段与理论、新材料的不断发展,拱桥这一古老的桥型仍不断地向大跨径领域发起挑战。

1990 年建成的位于我国湖南省沅江源头上的鸟巢河桥,是一座主跨为 120m 的双肋石拱桥。该桥因地制宜,就地取材,综合应用和发展了中国近 20 年来建设石拱桥的经验,结构合理轻盈,造型轻巧美观,是目前世界上最大跨径石拱桥记录的保持者(山西省一座跨径 140m 的石拱桥正在建设中)。

1997 年我国建成了可称世界之最大的特大跨径骨架混凝土拱桥——跨度为 420m 的重庆万县(现万州)长江大桥,主拱与立柱均为空箱薄壁结构,形态轻盈,为我国建桥史上增添了光辉的一页。

国外最大跨径的钢筋混凝土拱桥是前南斯拉夫沿亚得里亚海连接克拉克岛的克拉克桥,主跨 390m。该桥造型非常简洁、纤细、空透,特别是桥台与小岛的结合处理,自然和谐。

自人类进入钢铁时代起,主拱圈采用铸铁进而为钢架的桁架拱桥得到了迅速发展,20 世纪初完成了几座著名的双绞钢桁架拱,如美国纽约岳门桥,澳大利亚悉尼港桥(主跨 503m)等。我国最早的钢桁架拱是著名的钱塘江大桥的引桥。1995 年建成的贵州江界河大桥,主跨达 330m,是我国最大跨径的桁架拱桥。而 2000 年建成通车的广州市环路丫髻沙公路大桥,为主跨 360m 的中承式连续加劲钢管混凝土拱桥,其主体结构采用转体法(竖转加平转)进行施工拱肋。该桥成为目前钢管混凝土拱桥的跨径之最。

卢浦大桥之前,世界上跨度最大的钢拱桥是建于 1977 年美国西弗吉尼亚的新河谷桥(跨径 518.2m),从远处看,桥梁巨大的跨度与纤细的结构形式形成强烈对比,惊心动魄,叹为观止,令人不得不佩服掌握现代先进工程技术的桥梁工程师的杰作。

建于 1973 年美国的 Fremont 桥为柔性钢箱拱肋双层桥面中承式连续加劲钢拱桥,主跨跨径 383m。此桥特点为中跨桥面以上部分的拱肋及相对应吊杆和桥面加劲

梁所形成的系杆拱部分,在桥位附近组装完成后用船运到桥位后整体吊装就位。整个系杆拱长 275.19m,净重 6 000t。卢浦大桥建成之前,该桥仍是同类桥型中跨径最大的一座桥。

2. 卢浦大桥建设回顾

卢浦大桥为主跨 550m 的全钢结构中承式系杆拱桥。卢浦大桥由中国船舶工业集团公司联合上海中福城市投资建设公司、江南造船(集团)有限责任公司、上海工业投资(集团)公司、上海黄浦江大桥建设有限公司、上海远东国际桥梁建设有限公司组成的上海卢浦大桥投资发展有限公司投资建设,总投资约 22 亿元人民币。上海市政工程设计研究院、上海市城市建设设计研究院联合设计,上海同济建设监理咨询有限公司为设计监理方,上海建工集团公司施工总承包。卢浦大桥是上海“十五”期间第一批向社会招商的越江工程,也是集中体现了上海最新桥梁科技和城市发展水平的重点工程。

2000 年 10 月 18 日,由交通部三航局在浦西打下第一根试桩,标志着卢浦大桥施工正式启动。

2002 年 10 月 7 日,大桥主拱跨中合龙,“世界第一钢拱桥”像道美丽的彩虹横空出世,架落在黄浦江上。

2003 年 6 月 28 日,由中央军委主席江泽民题名的卢浦大桥正式通车。近万名大桥建设人员历时 2 年 8 个月拼搏的丰硕成果,是大桥建设者智慧和汗水的结晶。这是上海黄浦江上继南浦大桥、杨浦大桥、徐浦大桥、松浦大桥、奉浦大桥后投入使用的第六座大桥。

卢浦大桥全长 3 900m,其中主桥长 750m,宽 28.75m,采用全钢、全焊接结构,整个工程的用钢量达 3.5 万 t,相当于造两条半 7 万 t 级货船,是名副其实的“钢筋铁骨”、“钢铁巨龙”。卢浦大桥是世界上第一座全焊接钢结构拱形大桥,由于我国还没有建造 500m 以上拱桥的先例,卢浦大桥首次集斜拉桥、钢拱桥、悬索桥三种不同类型桥梁的施工工艺于一身,并一举创下多项世界之最:

① 是目前世界上建成的跨径最大的钢拱桥,跨度达 550m,比原先世界最大的美国西弗吉尼亚大桥长 32m;

② 主拱截面高 9m,宽 5m,是世界上最大型的箱形结构拱桥;

③ 是目前世界上首座除合龙接口一端采用栓接外,

完全采用焊接工艺连接的大型拱桥，现场焊接焊缝总长度达 4 万多米，接近于上海市内环高架路的总长度；

④ 在拱桥建造过程中，单件构件吊装重量达到 860t，河中跨拱肋吊装最大重量为 480t，整座主桥结构用钢量达 3.5 万多吨；

⑤ 主桥建造中融合了斜拉桥、拱桥、悬索桥等三种不同类型的桥梁施工工艺于一身，是目前世界上在单座桥梁建造中采用的施工工艺最多、最复杂的一座桥；

⑥ 大桥建设中所使用的 16 根水平系杆索，是目前世界上拱桥中长度最大(760m)、单根重量最重(110t)以及单根张拉吨位最大(1 700 多吨)的水平索；

⑦ 现场钢板焊接厚度达 100mm，是世界钢结构桥梁建造中现场钢板焊接厚度最大的一座；

⑧ 在建桥过程中使用了众多大型机械设备和大型临时施工设施，是目前世界上在单座桥梁建造中使用大型机械设备和设施最多的一座。

3. 结束语

卢浦大桥的建造体现了当代世界最高造桥水平，整个大桥工程科技含量极高。正如前国际桥梁学会会长、美国人奥斯登所说：“这确实是一座值得赞叹的桥。”中华民族是智慧的民族，是勇于创造奇迹的民族，作为有幸参与缔造这一辉煌的每一个桥梁建设者，都足以为此而感到自豪。

目 录

综 述	(1)
-----------	-----

第一篇 工 程 概 况

(一) 工程的前期筹划	(4)
(二) 工程设计方案的选定	(4)
(三) 工程管理	(5)
(四) 主要数据	(7)

第二篇 工 程 设 计

一、设计技术标准	(11)
(一) 道路等级	(11)
(二) 行车速度及主要线形标准	(11)
(三) 荷载标准	(11)
(四) 桥梁宽度	(11)
(五) 设计通航水位及通航净空	(11)
(六) 立交净空高度	(12)
(七) 引道挡土墙高度	(12)
(八) 抗震设防	(12)
二、设计采用及参考规范	(12)
(一) 国家标准、规范	(12)
(二) 行业标准、规范	(12)
(三) 地方标准、规范	(12)
(四) 参考规范	(12)
三、全桥总体设计	(13)
(一) 主桥总体设计构思及建筑造型设计原则	(13)
(二) 桥位处自然条件	(13)
(三) 全桥路线走向方案	(17)
四、主桥方案及主桥结构的优化与比选	(19)
(一) 主桥中孔跨径选定	(19)
(二) 主桥桥型方案优化	(19)
(三) 主墩基础优化	(19)
(四) 主拱的建筑造型设计优化	(22)