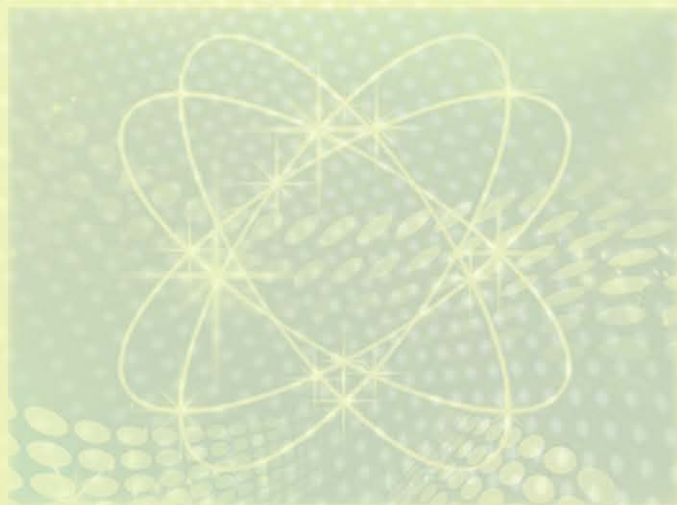


朝天门大桥



重庆出版集团

《重庆城市桥梁建设丛书》编委会

主 编：华渝生

副 主 编：顾庭勇（执行） 孙力达 谢 鸿 祁仁俊

委 员：石本同 李华基 杨 忠 杨宗福 方纪中

杨其良 龚国均 张万全 杜宇隆 杨联章

张雪松

《重庆朝天门长江大桥》编委会

主 编：华渝生

副 主 编：顾庭勇（执行） 李华基

委 员：张万全 杨其良 杨联章 王福敏 龚国均

魏善平 向中富 张雪松 冯建川 蔡汝一

刘瑞云 董延益 魏延丽 刘 雪 钟世娟

陈 伟 贺金花

版面设计：董延益

图片提供：重庆市城市建设投资公司办公室

封面图片：顾庭勇

审 核：张万全 杨其良 向中富 王福敏

总 序

抚今追昔，观历史之沧桑，继往开来，察时代之变迁，重庆的巨变桥为证。

桥随着时代的发展，从竹木桥、石桥到铁桥、钢桥、钢筋混凝土桥，从石墩桥、浮桥、栈桥、吊桥、拱桥到斜拉桥、悬索桥，从跨越沟壑到飞越长江，直到傲视天堑。

盛世兴桥，自 20 世纪 90 年代末重庆直辖以来，重庆区域内长江、嘉陵江两岸经济的高速发展，重庆市主城区道路、高速路及铁路路网建设不断扩大，基础设施建设进入了前所未有的建设高潮。随着重庆投融资体制改革的不断深化，市城市建设资金来源多元化及桥梁技术的迅猛发展，重庆主城区的跨江大桥就如雨后春笋一座座修建起来。重庆“桥梁之都”的风貌日益显露。

桥，见证着重庆的发展，推动着重庆的进步，从 1959 年起重庆第一座小南海长江铁路桥到今天菜园坝长江大桥、朝天门长江大桥等公轨共用多功能跨江大桥，重庆的桥梁建设历经半个世纪的风雨沧桑，无论从桥型、跨度、设计、施工、景观等各个方面已经大踏步地成长、发展，成为见证重庆经济发展与社会进步的坐标，成为推动重庆发展和进步的载体。

为了真实记录重庆市最新桥梁建设、设计、施工和管理的科技成果和建设成就；整理保存桥梁建设的技术资料和重要档案；提高桥梁建设的管理水平，并为从事桥梁专业和行业的工程技术人员、高校学生提供桥梁建设实例，重庆市城市建设投资公司作为建设业主，组织桥梁专家、工程技术人员就重庆直辖后，新建的菜园坝长江大桥、朝天门长江大桥、鹅公岩长江大桥、石板坡长江大桥复线桥、鱼洞长江大桥、嘉陵江黄花园大桥等六座城市特大型跨江大桥进行资料收集、整理，编撰出版《重庆城市桥梁建设丛书》。这套《重庆城市桥梁建设丛书》真实地记载着每座桥梁建设中的设计、施工特点和技术创新，以及大桥建设在组织管理和工程实施中的经验与教训；突出桥梁建设中的亮点、看点和难点。每座大桥独立成册，内容丰富，图文并茂，具有资料性、科技性、可读性和保存价值。

通过桥看历史，通过桥感悟现在，通过桥展望未来。重庆人民建成的每一座桥梁，都在向世人展示着他们的丰功伟绩。那一场场气壮山河的建设场面与通车时的喜悦，有的已远去，有的却正向我们走来；这一座座征服天堑的杰作都已绘入历史画卷，走进现实生活，永远光耀人间。

华渝生

前 言

重庆朝天门长江大桥是世界第一大跨径拱桥，被定位为重庆的江上门户。

重庆朝天门大桥长 1 741 m, 主桥为 190 m +552 m +190 m, 三跨连续中承式钢桁系杆拱桥。大桥为双层公轨两用桥，大桥桥腹预留两个汽车道，轨道交通“六线一环”中的“一环”通过桥腹过江，采用上层“汽车道+人行道”、下层“汽车道+轨道线”的“双层通行”模式。

重庆朝天门大桥设计首创多肋飞燕式钢桁拱形式；首次揭示了板桁温差规律，采用局部板桁结合，解决了不同截面型式构件之间的温差变形问题；首次采用了先拱后梁、斜拉扣挂、边支座升降、中支点预偏、边跨压重等成套施工技术，实现了主拱和刚性系杆的无应力合龙；主桥墩首次采用箱隔式结构解决了 145 000 kN 集中压力的问题。这些都是大桥的创新点。

在重庆朝天门大桥工程建设中，设计、科研、施工、监理等工程技术人员克服重重困难，攻克各种技术难关，取得很多科研新成果，优质地完成了这座世界第一大跨径拱桥。

重庆朝天门长江大桥面的建成对市区两岸及川黔高速公路的过境交通、完善规划中央商务“金三角”地区交通流的转换，增强主城区道路网络的功能，推动和促进沿线地区建设和经济发展，改善城市投资环境都起到十分重要的作用。在这里我对大桥的所有工作者表示衷心感谢，因为你们谱写了重庆朝天门长江大桥工程顺利完成的赞歌。



目 录

总序	1
前言	1
第一篇 前期工作篇	1
第一章 项目概况	3
第二章 前期工作	4
第一节 项目建设的必要性	4
第二节 项目立项与可行性研究	5
第三节 桥位和桥型方案比选	7
第四节 环境评估	19
第五节 地震评估	24
第二篇 设计篇	29
第一章 大桥的技术特点和创新	31
第二章 下部结构设计	33
第一节 基础设计	33
第二节 墩身设计	37
第三章 上部结构设计	42
第一节 平纵断面设计	42
第二节 钢桁梁	43
第三节 主拱结构	45
第四节 吊杆、系杆索设计	46
第五节 钢拱座整体节点板的设计	49
第六节 轨道交通的设置	50
第七节 桥面铺装	52
第八节 转轴式伸缩缝设计	54
第九节 大吨位抗震支座设计	55

第四章	结构计算分析·····	58
第一节	结构静力稳定分析·····	58
第二节	结构动力特性分析·····	59
第五章	防护工程设计·····	63
第一节	钢桁梁防腐体系及材料特点·····	63
第二节	防腐蚀涂层设计·····	64
第六章	景观设计·····	66
第一节	桥梁色彩设计·····	66
第二节	桥梁夜景设计·····	68
第七章	附属工程设计·····	71
第一节	避雷工程设计·····	71
第二节	检修车及检修走道设计·····	72
第三篇	施工篇·····	77
第一章	施工概述·····	79
第二章	主墩支座施工·····	81
第一节	支座的制造与运输·····	81
第二节	支座的安装与维护·····	82
第三章	下部结构施工·····	86
第一节	主墩基础施工·····	86
第二节	墩身施工·····	89
第四章	上部结构制作·····	93
第一节	概述·····	93
第二节	主拱肋制作·····	93
第三节	桥面板吊装单元的制作·····	96
第四节	桥面系横梁的制作·····	98
第五节	轻轨纵梁的制作·····	100
第五章	上部结构安装·····	101
第一节	概述·····	101
第二节	边跨安装·····	101
第三节	中跨拱肋安装·····	106
第四节	节点高强度螺栓施工控制·····	107
第五节	钢桥面板安装·····	109

第六章 桥面系施工	110
第一节 桥面铺装施工	110
第二节 人行道施工	113
第七章 附属工程施工	116
第一节 养护小车施工	116
第二节 伸缩缝施工	118
第八章 施工监控	120
第一节 概述	120
第二节 施工监控监测	120
第四篇 科研篇	139
第一章 大桥模型试验	141
第一节 静力试验研究	141
第二节 动力试验研究	146
第三节 节点模型疲劳试验研究报告	154
第二章 大桥风洞试验研究	163
第一节 全桥气弹性模型试验及结果分析	163
第二节 节段模型试验	170
第三章 大桥施工全过程仿真及二类稳定研究	178
第四章 超大跨钢桁拱桥结构设计关键技术研究	184
第五章 钢桁梁关键制造技术研究	196
第五篇 建设管理篇	211
第一章 大桥建设组织管理概况	213
第二章 工程招投标	214
第三章 工程投资管理	215
第四章 荷载试验	216
第五章 工程质量验收	229
第六章 运营变形、索力检测与状态评估	233
第七章 工程获奖奖项	239
第八章 板桁温差问题的分析及处理	240

第一篇

前期工作篇

第一章 项目概况

重庆朝天门长江大桥工程由重庆市发展改革委员会于 2003 年 5 月以渝计委投〔2003〕517 号文批准立项。

工程由大桥主桥、南北引桥及引道、江北桥头立交、弹子石立交和黄桷湾立交改造等五大部分组成，路线全长 4.158 km。路线起点为江北五里店立交，经印子石、窍角沱、弹子石终点为黄桷湾立交。主桥为公轨两用中承式连续钢桁系杆拱桥，长 932 m，为世界同类型最大跨径桥梁，引桥为双幅预应力砼连续箱梁，孔径布置 $(10+50+54+4 \times 50) \text{ m} + (190+552+190) \text{ m} + (30+33+27+5 \times 30+10) \text{ m}$ 。该桥主桥为中承式钢桁连续系杆拱桥，双层桥面布置，上层为双向 6 车道和两侧人行道，桥面总宽 36 m。下层中间为双线城市轨道交通，两侧各留 1 个汽车车行道。

2004 年 5 月 31 日，重庆市城市建设投资公司与中国交通建设股份有限公司签订了《重庆朝天门长江大桥 BT 模式投资建设总承包合同》，由中交股份以 BT 模式承接了该项目的投资建设和运营，并成立了重庆中港朝天门长江大桥项目建设有限公司作为项目投资建设的主体。

该项目实施建设管理单位为中交股份总承包分公司，施工单位为中交第二航务工程局有限公司、中交第四航务工程局有限公司。大桥概算总投资 32 亿元。项目于 2004 年 12 月开工建设，2009 年 4 月 29 日竣工通车。

第二章 前期工作

第一节 项目建设的必要性

根据对重庆市国民经济的发展状况和趋势以及主城区道路状况分析，大桥建设的必要性主要表现在：

（1）国民经济建设的需要。重庆市是一座综合性的老工业城市，有独立核算工业企业 1 万余户，其中，规模以上企业 2 054 家，从业人员 84 万人，资产总额 2 013 亿元。2002 年，实现工业增加值 651 亿元，增长 13.8%，规模以上工业企业实现工业总产值 1 228 亿元，增长 19.8%；工业经济综合指数达到 105%，创历史新高。重庆市国民经济的高速发展促进了对交通运输的发展要求；

（2）道路合理布局的需要。现有道路容量不足、交通堵点多、交通方式单一、缺乏相应配套的道路设施，因而影响车辆运行的舒适度、安全性及交通流量的运行分配。通过对项目影响区域的综合调查分析，现有连接渝中区、江北区、南岸区的主要交通动脉为石板坡长江大桥，设计流量仅为 30 000 辆/日，而目前实测流动量为 75 000 辆/日，严重影响了本地区交通运输能力；

（3）全市交通网络建设的需要。全市总体交通网结构中，本项目是全市道路规划中的二横线，是打通东西向的第二条主干道，其作用和地位非常重要；

（4）轻轨建设的需要。在重庆立体交通规划中，本项目是重庆市规划中的“六线一环”城市轨道中“一环”的过江载体；

（5）中央商务区的建设需要。根据重庆市国民经济发展和向着国际化大都市发展的需要，重庆的中央商务区规划为江北城、弹子石和渝中半岛。本项目非常有利于中央商务区，“金三角”地区交通流的转换，适应重庆市高速发展的需要。

因此，结合全市主城区综合交通规划（2002～2020），在朝天门修建一座长江大桥，有效解决渝中区、江北区、南岸区乃至巴南区等区域的交通拥挤问题，并以此完善重庆市的交通，促进沿线地区经济发展，越加显得迫切和必要。

随着重庆经济的快速发展，地区间经济联系越来越密切，过江车辆的数量大幅度增加，造成石板坡长江大桥车流拥挤，交通不畅。根据 2000 年调查资料，石板坡长江大桥的车流量已达到 75 000 辆/日，大大超过了 30 000 辆/日的设计流量。重庆朝天门长江大桥是重庆市总体交通路网规划结构中主城区东西快速干道上的重要桥梁，该工程的建设对于改善主城区过江交通拥挤状况，完善城区交通骨干网络和道路布局，促进主城中央商务区建设等方面具有重要的作用，项目建设是必要的。

第二节 项目立项与可行性研究

一、项目前期工作

2003年3月,重庆市建设委员会以渝建〔2003〕47号文件批准开展朝天门长江大桥(原王家沱长江大桥)前期工作。

2004年,重庆市规划局以渝规地审〔2004〕局字第0028号文件批复朝天门长江大桥工程的设计方案;以渝规地证〔2004〕局字第0128号文件批复朝天门长江大桥建设用地规划许可。

2004年5月,重庆市发展和改革委员会以渝发改投〔2004〕435号文件批准了朝天门长江大桥工程可研报告。

2004年5月31日,中国交通建设股份有限公司与重庆市城市建设投资公司签订了《重庆朝天门长江大桥BT模式投资建设总承包合同》,由中交股份以BT模式承接了该项目的投资建设和运营,并成立了重庆中港朝天门长江大桥项目建设有限公司作为项目投资建设的主体。

2005年12月,重庆市发展和改革委员会以渝发改投〔2005〕1291号文件批准了朝天门长江大桥正桥工程总投资概算报告。

二、《朝天门长江大桥工程可行性研究报告》的内容要点

朝天门长江大桥是重庆市1996~2020年城市总体规划中的16座跨江大桥之一,是重庆市的门户桥梁和主城区二环快速干道上的重要桥梁,同时也是重庆市规划的“六线一环”城市轨道交通中“一环”的载体。大桥的修建对市区两岸的过境交通及引导川黔高速公路的过境交通、完善市规划中央商务区“金三角”地区交通流的转换,增强主城区道路网络的功能,推动和促进沿线地区建设和经济发展,改善城市投资环境将起到十分重要的作用。

1.建设起点

本项目北起江北五里店立交预留接口,向东经重庆海业电子公司、长安汽车篷垫厂,以桥梁跨越长安葡萄园,在此设对山立交,然后以路堑穿越高家湾山坡,进入北引桥跨越重庆船厂,主桥跨长江,最后到达南岸窍角沱码头上游侧,南引桥跨越重棉三厂职工宿舍区、卫国路,继续上跨弹子石大佛路段后与引桥与南引道相接,路线以挖方路堑穿越东坪村、群慧路,在重庆市监狱前与盘龙大道相交,在此设弹子石立交,路线继续东行,穿越市监狱,经舒家院子,到达路线终点—黄桷湾,线路跨越原有黄桷湾立交(对黄桷湾立交进行改造)与鸡弹路相接,路线全长4.158 km。

2.建设规模和建设内容

朝天门长江大桥工程沿线主要包括朝天门长江大桥正桥、对山立交(北岸立交)弹子石立交和黄桷湾立交(南岸立交)及南北引道等五大部分和交通监控、照明、景观(绿化)、标志标线、综合管网等市政配套设施组成。其中:

(1)正桥:全长1 741 m,主桥826 m,其中北引桥360 m,南引桥535 m,采用中承式无推力钢桁架系杆拱桥,分上下两层,上层桥面为双向6车道,总宽36.5 m,下层桥设两

车道和双向轨道交通；

(2) 江北桥头立交：全长 2 814.26 m，平曲线最小半径 $R=45$ m，最大纵坡为 5%，主线跨线桥长 180 m，匝道桥长 810 m；

(3) 弹子石立交：全长 2 907.1 m，平曲线最小半径 $R=40$ m，最大纵坡为 5%，主线跨线桥长 90 m，匝道桥长 630 m；

(4) 黄桷湾立交：全长 4 829.99 m，平曲线最小半径 $R=140$ m，最大纵坡为 5%，主线跨线桥长 90 m，匝道桥长 630 m。

项目分两期进行建设。一期工程起于江北区五里店立交预留接口，江北桥头立交、朝天门大桥正桥，止于南岸区弹子石立交（含立交工程），全长 3km，由中国港湾建设集团采用 BT 模式投资建设；二期工程从弹子石立交（不含立交工程），止于黄桷湾立交，全长 1.158 km，结合弹子石片区改造实施建设。

3.技术标准

(1) 道路等级：工程主线为 I 级城市主干道；

(2) 计算行车速度：大桥主线为 60 km/h，立交为 40 km/h；

(3) 设计荷载：大桥主线为公路 I 级，人群荷载为 4 kN/m^2 ，下层轨道部分采用 B 型地铁，五辆编组，车辆轴重 $P=140\text{ kN}$ ；立交为城市-A 级；

(4) 道路净空高度：大桥主线 $\geq 5.0\text{ m}$ ，立交 $\geq 4.5\text{ m}$ ；

(5) 通航等级：天然河道 I 级，通航高度 18 m；

(6) 桥面宽度：主线桥面宽度 36.5 m，含双向六车道 $6 \times 3.75\text{ m}$ 、中央分隔带 2.0 m 和人行道 $2 \times 2.5\text{ m}$ ，桥面下预留双向两车道汽车交通和双向轨道交通；立交匝道采用两车道 $2 \times 3.75\text{ m}$ ；

(7) 地震基本烈度：VI 级，按 VII 级设防；

(8) 设计洪水位：三峡成库后 100 年一遇洪水位 199.09 m（黄海高程）。

4.总投资估算

根据本项目的建设规模和技术标准，项目方案的估算金额为 348 844 万元，其中建筑安装工程费 211 747 万元，设备及工器具购置费 1 316 万元，工程建设其他费 90 118 万元，建设期贷款利息 24 424 万元，预备费 20 883 万元。

5.工期

项目于 2004 年 12 月 30 日开工建设，2009 年 4 月 29 日建成通车。

6.财务评价

由于目前重庆主城区车辆实行统一一年票收费及外地车辆次票收费政策，修建朝天门长江大桥后，带来的是整个主城区交通状况的改善和经济的发展及诱增一定的交通量。但由于收费制度的改善，该桥修建后带来的经济效益和以往的考虑角度不同，不能单纯从该桥的角度分析，它带来的是整个主城车辆的增加及相应经济收入的增加，且实行统一收费后，该桥的建设、还贷和收益均列入年费制统一考虑，因此，不单独对该桥进行财务评价。

7.国民经济评价

本项目净现值 74 841.28 万元，效益费用比 1.74，内部收益率 19.47%（大于折现率 12%），投资回收期 11.74 年。在达到设计车流量的情况下效益是显著的，并具有较强的抗风险能力，国民经济效益良好，社会效益极佳，项目是可行的。

8.资金筹措

该项目为重庆市重大基础设施项目，项目分两期实施，一期工程由项目业主重庆市城市建设投资公司委托中国港湾建设（集团）总公司采用 BT 总承包建设模式负责该工程的全部资金筹措，重庆市城市建设投资公司在工程移交后按合同约定支付工程建设资金本息；项目建设资金主要来源除路桥年费增量外，还来源于“按规划、带项目、批土地”的土地储备整治增值收益。

三、重庆长江港航监督局对朝天门长江大桥与船舶航行安全进行论证

论证报告提出的桥型方案均为一跨跨越主航道，采用单孔双向通航，推荐方案满足通航要求。天然情况下，大桥断面处 20 年一遇洪水位为 188.23 m（黄海高程）。根据现有研究成果，三峡水利枢纽建成 100 年后，发生 20 年一遇洪水时，重庆朝天门的水位为 194.43 m（黄海高程），考虑到朝天门距桥址仅约 1.7 km，大桥设计通航水位可取 194.32 m（黄海高程）。

同意按天然情况下，98%保证率，最低通航水位计算为 157.82 m（黄海高程），三峡水利枢纽正常运行后，重庆河段的最低通航水位将有所提高。

第三节 桥位和桥型方案比选

一、桥位及其桥轴线

（一）桥位

朝天门长江大桥是城市总体规划修编中主城区规划的 16 座跨江特大桥梁之一，其作为城市建设的基础设施，目的就是要有效地解决城市交通组织问题。为了疏通长江南北两岸江北区、南岸区的过江交通渠道，缓解越江大桥的交通压力，打通重庆市第一二条东西向通道，形成合理有效的交通枢纽，促进北、南部区域的发展，桥位选择除满足上述要求和符合重庆城市总体规划道路网络布局外，更应注重解决中央商务“金三角”地区交通快速转换。

本桥位虽然处在长江与嘉陵江的汇合河段，又处于繁忙的港区，江面较宽，且与梁沱港相距较近，对航道存在有一定的影响，但是，南、北岸接线却能迅速、快捷地将江北区、南岸区等城市交通主枢纽连接起来，提高道路服务水平，有效解决江北区、南岸区的城市区域交通组织问题，特别是为规划中的中央商务区的开发创造有利条件。桥位相对位置如图 1.2.1。



图 1.2.1 桥位相对位置

从拆迁考虑，本桥位是城市总体规划中的方案，有红线控制范围，沿线所建楼房不多，拆迁量相对小，工期容易保证。

根据航道部门及其专家意见，从大佛寺至朝天门之间的长江航段，比较好的桥位是打鱼湾至弹子石，观音梁至窍角沱和蜂窝梁至窍角沱。如图 1.2.2 所示。

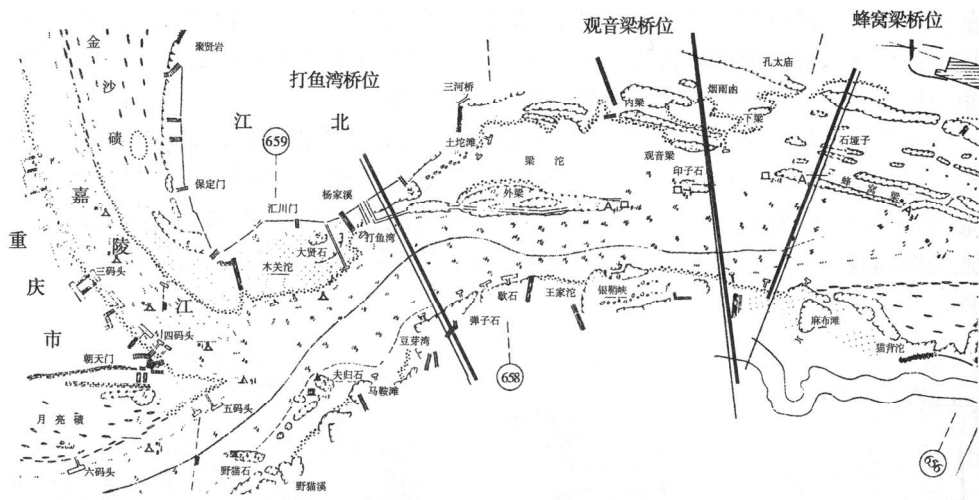


图 1.2.2 桥位优化选择

(二) 桥轴线的优化比选

比选的桥位中观音梁至窍角沱桥位刚好与市总规中的规划桥位一致，由于规划桥位已

报国务院批准，故本项目可行性研究路线方案比选中研究的桥位以该桥位为基础，仅结合实际环境条件对桥轴线进行了进一步的优化比选，提出了上游轴线和下游轴线两个桥轴线方案。

①上游轴线，起于五里店立交，止于渝黔线黄桷湾立交，轴线在北岸重庆船厂附近向下游移动了 80 m 左右，与航道几乎垂直；②下游轴线，左上游轴线基础上，向下游平移 200 m 左右，且向上游方向旋转约 3.61° ，轴线在南岸基本不动。如图 1.2.3 所示。

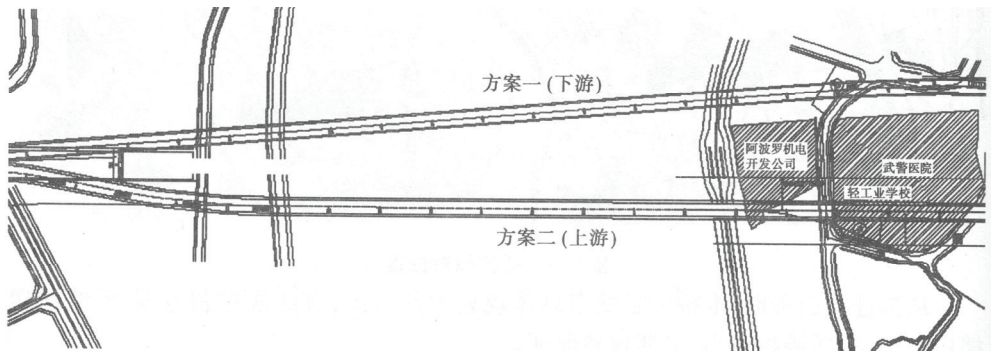


图 1.2.3 上下游桥位平面图

1.上游轴线的特点

轴线与水流几乎垂直，轴线最短，是原规划的桥轴线，两端的接线充分利用了南岸弹子石的原规划线；且在南岸沿轴线有红线控制建筑修建范围。但是该桥位离开梁沱码头较近，对船进出梁沱的影响较大，直接影响桥墩的结构安全；同时南岸要穿越重庆市武警医院的行政办公区。如图 1.2.3 所示。

2.下游桥轴线方案的特点

本方案实际上是在上游轴线的基础上优化而来，即将上游方案向下游平移 200 m 左右，同时在保证南岸轴线基本不动的前提下，轴线沿逆时针方向旋转 3.61° ，形成下游桥轴线方案。该方案远离梁沱码头，克服了上游方案的缺点，同时利用弹子石地区新的规划道路作为接线，避开了江北岸的 50 m 左右的路堑深挖和南岸的武警医院。且大桥正对朝天门广场，景观效果最好，不足之处是在大佛寺大桥上看大桥约有些偏斜，且引道要穿越重庆市监狱。

3.桥轴线论证

根据上述两桥轴线各自的特点，分以下几个方面论述：

(1) 桥轴线与两端路网的衔接

本项目起点位于江北五里店立交，在重庆船舶修造厂过江，经弹子石，到达本项目的终点，与外环线上的黄桷湾立交相接。两轴线相距只有 300 m，且两方案均具有相同的起迄点，因此两方案与两端路网的衔接功能基本一致。

(2) 桥轴线与轨道交通的关系

根据轨道公司所作的重庆市轨道交通总体规划，轨道环线将经朝天门长江大桥过江，本项目可行性研究对轨道交通的过江方式进行了论证，根据大桥的桥型、桥位、景观及两