

# 申江路赵家沟大桥设计与施工

刘 朴<sup>1</sup>, 夏巨华<sup>2</sup>, 蒋卫列<sup>3</sup>, 徐 斌<sup>2</sup>

(1. 上海浦东工程建设管理有限公司, 上海市 201203; 2. 杭州市城建设计研究院有限公司上海分公司, 上海市 201203;

3. 中国市政工程中南设计研究院上海分院, 上海市 201203)

**摘 要:**介绍了赵家沟大桥总体设计和构造上的特点、内力分析。

**关键词:**钢管系杆拱; 结构计算与分析; 拱肋整体吊装

**中图分类号:**U442.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2006)05-0055-04

## 1 概述

赵家沟大桥是申江路(城市 I 级主干道)跨越赵家沟的一个大型结构工程。全桥长 395.6 m, 桥梁跨径组合为  $7 \times 22$  m 简支梁桥 + 87.5 m 主桥 +  $7 \times 22$  m 简支梁桥, 主桥采用下承式钢管系杆拱, 主桥长 87.5 m, 宽 44.4 m, 引桥采用上海地区常用的 22 m 简支梁桥, 引桥宽 37.6 m, 主桥为浦东新区主跨最大的桥梁(见图 1)。

赵家沟位于浦东新区北部, 是黄浦江下游的一条重要支流, 不仅是浦东新区的航运通道、而且也是浦东新区北片的一条主要排水通道。赵家沟现状河宽约 28 m 左右, 规划河床的河口宽度 60.0 m, 河底宽 40.0 m。



图 1 赵家沟大桥

## 2 技术标准

桥梁汽车设计荷载: 城 - A 级;

桥面宽度: 桥梁分双幅, 双向六车道, 主桥宽

44.4 m; 桥面布置:  $[0.3 \text{ m (人行栏杆)} + 3.0 \text{ m (人行道)} + 1.4 \text{ m (拱肋区)} + 3.5 \text{ m (非机动车道)} + 0.5 \text{ m (防撞栏杆)} + 12.0 \text{ m (车行道)} + 0.5 \text{ m (防撞栏杆)} + 1.4/2 \text{ m (拱肋区)}] \times 2 = 44.4 \text{ m}$ ;

通航标准: 通航净宽  $> 45 \text{ m}$ , 梁底标高  $\geq$  吴淞高程 + 10.0 m;

计算行车速度: 60 km/h;

桥面线型标准: 纵坡 3%, 横坡 1.5%, 竖曲线半径 2 000 m;

抗震标准: 抗震设防烈度 7 度, 抗震重要性修正系数 1.7。

## 3 主桥

### 3.1 上部结构

上部结构采用下承式钢管简支拱, 计算跨径为  $L = 85 \text{ m}$ , 考虑桥面较宽 (44.4 m) 结合桥面布置, 采用三片拱肋形式, 即在两侧人行道边, 中央分隔带处各设一片拱肋, 各片拱肋之间设五道风撑。赵家沟大桥总体布置见图 2。

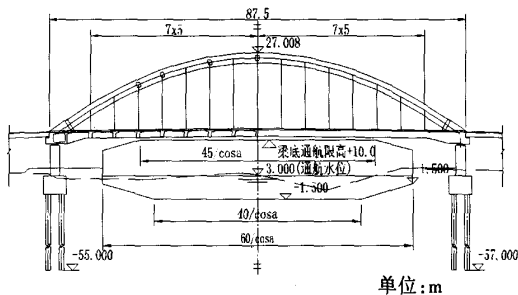


图 2 申江路赵家沟大桥总体布置图

收稿日期: 2006-07-10

作者简介: 刘朴(1966-), 男, 安徽人, 博士, 高级工程师, 从事市政工程管理。

近年来, 道路交通管理作为充分利用现有道路交通设施的重要手段, 在建立畅通、安全、高效、有序、舒适、低污染、低能耗的可持续发展的交通运输系统中具有十分重要的意义。理论与实践表明, 城市道路交通管理规划的编制与实施对改善城市道路交通将起到积极的推动作用。

### 参考文献

- [1] 兰州市综合交通规划[Z].
- [2] 促进城市交通发展、走城市交通可持续发展之路[J]. 交通工程通讯, 2000(2).
- [3] 交通工程手册[M]. 人民交通出版社, 1998.
- [4] 城市交通规划理论及其应用[M]. 南京: 东南大学出版社, 1998.

拱肋:采用钢管混凝土结构,拱肋矢高 $f=15\text{ m}$ ,矢跨比为 $1/5.7$ ,由于体系为外部静定的简支拱,因此可做成坦拱。拱肋为箱形,四角用 $15\text{ cm}$ 半径圆角,箱内采用 $\phi 22$ 钢筋加劲,中拱肋钢板厚 $16\text{ mm}$ ,边拱肋钢板厚 $14\text{ mm}$ 。拱箱内填充C50微膨胀混凝土。设计确定拱肋尺寸时考虑了以下几方面的影响:(1)满足施工及运营阶段的稳定性;(2)拱圈与系梁之间的合理的刚度关系;(3)边、中拱肋受力的不一致性。确定拱肋尺寸如下:中拱肋高 $2.0\text{ m}$ ,宽 $1.4\text{ m}$ ,边拱肋高 $2\text{ m}$ ,宽 $1.0\text{ m}$ 。中拱肋、边拱肋截面见图3、图4。

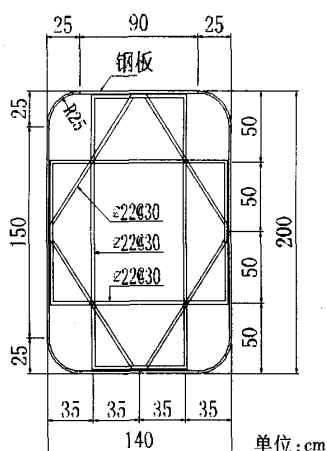


图3 中拱肋截面

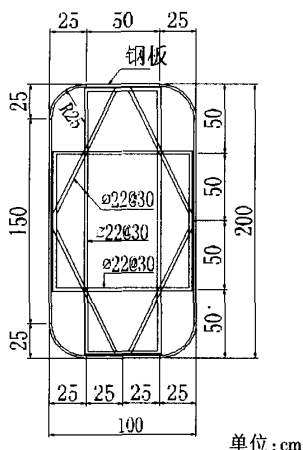


图4 边拱肋截面

风撑:综合受力及景观要求,全桥设五道风撑,两道边风撑为八字撑,三道中风撑为一字撑,风撑采用直径 $1\text{ m}$ 的圆钢管。

加劲纵梁:主要承受水平向拉力和纵向局部弯曲应力,为方便施工,纵梁采用实体矩形梁,中纵梁尺寸 $160\text{ cm} \times 150\text{ cm}$ ,边纵梁尺寸 $120\text{ cm} \times 150\text{ cm}$ 。为降低梁体高度,系梁顶高出桥面板 $25\text{ cm}$ ,其底面与横梁齐平。纵梁内配 $15\Phi J15.24$ 钢

绞线,钢绞线采用 $R_{by}=1860\text{ MPa}$ 低松弛钢绞线,边纵梁内配14束,中纵梁内配20束。锚具采用群锚。

中横梁:横梁是该桥的关键构件,横梁的高度直接影响到整个桥梁结构梁体部分的高度,降低梁高,可减少引桥长度,因此,在可能的条件下,应尽量降低横梁高度。横梁连接于三根加劲纵梁间,主车道横向坡度由横梁顶面调节,底部水平。设计时考虑板与横梁整体受力,横梁的上弦为桥面板的一部分,横梁高度 $101\text{ cm} \sim 125\text{ cm}$ ,这大大降低了桥梁的建筑高度,横梁宽度 $70\text{ cm}$ 。横梁内配 $4-10\Phi J15.24$ 、 $2-2\Phi J15.24$ 、 $2-3\Phi J15.24$ 、 $2-5\Phi J15.24$ 钢绞线,钢绞线强度 $R_{by}=1860\text{ MPa}$ 低松弛钢绞线。锚具采用群锚。

端横梁:端横梁足够的刚度,是全桥稳定的重要保证。该桥端横梁采用抗弯及抗扭刚度较大的箱形断面,高度在中横梁高度的基础上加高 $1\text{ m}$ ,为 $200.8\text{ cm} \sim 225.0\text{ cm}$ ,宽度 $370\text{ cm}$ 。为改善主墩受力条件,以使支座中心线和桩群中心线对齐,在端横梁上加设牛腿,供引桥板梁搁置。横梁内配 $4-15\Phi J15.24$ 、 $11-5\Phi J15.24$ 钢绞线,钢绞线强度 $R_{by}=1860\text{ MPa}$ 低松弛钢绞线。锚具采用群锚。

桥面板:桥面板沿桥梁纵向作为单向板设计,计算跨径为吊杆间距 $5\text{ m}$ ,板厚在横梁轴线两侧加腋,由 $30\text{ cm}$ 降至 $22\text{ cm}$ ,板内配置纵向预应力束,用以承担板的局部弯曲及水平力。人行道是边纵梁带悬挑形成,端部高 $20\text{ cm}$ ,根部高 $40\text{ cm}$ ,同横梁分段预制。

吊杆:吊杆采用挤包护层扭绞型拉索。边吊杆拉索采用 $SNS/S-II-7 \times 91$ ,配套锚具为 $LM7-91$ 冷铸锚具;中吊杆拉索采用 $SNS/S-II-7 \times 127$ ,配套锚具为 $LM7-127$ 冷铸锚具。

### 3.2 下部结构

主墩:主墩采用折叠柱式墩,采用 $D100\text{ cm}$ 钻孔灌注桩,双排布置。为节省下部结构工程量,缩短承台长度,缩短桥梁跨径(该桥斜交),两边墩柱采用折叠柱,墩柱横梁以下部分折向桥中,中立柱竖直布置,立柱断面尺寸 $2 \times 2\text{ m}$ ,四边用 $0.15\text{ m}$ 圆角。承台采用实体,厚 $3.5\text{ m}$ 。

支座:主墩采用盆式橡胶支座,两边柱顶支座采用 $2500\text{ t}$ ,中柱顶支座采用 $3500\text{ t}$ 。

## 4 引桥及桥面系

### 4.1 上部结构

上部结构采用预应力空心板梁。 $22\text{ m}$ 梁为先张法预应力空心板梁,梁高 $90\text{ cm}$ 、宽 $100\text{ cm}$ 。

4.2 下部结构

桥墩采用圆形三柱墩。桥台采用排架式。桩基均采用  $\Phi 80\text{ cm}$  钻孔灌注桩（以减小对桥梁两侧房屋的影响）。

4.3 主要施工方法

空心板梁采用工厂预制。下部结构采用常规方法施工。

4.4 桥面系

桥面铺装：桥面铺装从上至下采用  $6\text{ cm}$  沥青混凝土（ $3.5\text{ cm LH-15 I}$  型沥青混凝土面层  $+2.5\text{ cm LH-05 I}$  型沥青混凝土调平层）。

伸缩缝：伸缩装置采用型钢伸缩缝。

防撞栏杆：桥梁在分隔带两侧设置了宽  $0.5\text{ m}$  的 C30 水泥混凝土防撞栏杆，扶手采用钢管。

机非分隔带防护带：机非分隔带防护带采用  $0.5\text{ m}$  宽的 C30 实体结构。

栏杆：桥梁在两侧设置了宽  $0.3\text{ m}$  的艺术栏杆。

桥面排水：主桥  $20\text{ m}$  设一排水孔，引桥在每一墩台处设一排水孔。

搭板：桥台后台机动车道部分设置了长  $8\text{ m}$  的搭板，板厚  $30\text{ cm}$ 。

5 结构计算与分析

5.1 上部结构静力计算与分析

大桥施工阶段及运营阶段内力及变形采用平面杆系桥梁结构分析软件 *bap* 进行计算，由平面杆系桥梁结构分析软件 *bcsa* 进行复核，使用大型通用程序 *SAP93* 进行空间分析计算，通过计算优化了大桥各构件的尺寸，美化了桥梁。

总体静力计算采用平面杆系理论，以主桥各构件轴线为基准划分结构离散图。主桥按先拱后梁方式施工，拱脚现浇，拱肋安装，拱内混凝土灌注，纵、横梁安装，桥面施工到成桥运营进行计算，其中包括：自重、预应力的加载、混凝土的收缩和徐变、施工荷载、桥面系荷载等影响。在成桥运营阶段，考虑了汽车、挂车、墩身沉降、汽车制动力、温度力、支座摩阻力等作用与影响。其中温度计算考虑了体系升降温，梁、拱肋上下缘温差等。主桥纵梁、拱肋各主要截面应力见表 1、表 2。

表 1 运营后期纵梁截面附加组合应力 (MPa)

截面	拱脚	1/4 拱肋	拱顶
上缘最大	11.18	11.11	11.65
上缘最小	7.02	4.54	8.49
下缘最大	11.80	12.70	7.22
下缘最小	7.11	5.75	4.33

表 2 运营后期拱肋截面附加组合应力 (MPa)

截面	拱脚	1/4 拱肋	拱顶
上缘最大	4.83	6.80	6.23
上缘最小	2.89	2.00	2.99
下缘最大	4.33	7.00	4.82
下缘最小	3.07	-1.00	-0.69

5.2 空间分析

为了进一步对结构进行分析，采用了空间杆系计算模型对结构进行分析，该桥结构稳定系数为 12，大于规范要求稳定系数  $4\sim 5$ 。

6 结构特点

6.1 上部结构化整为零

为降低对吊装设备的要求，节省施工费用，该桥上部结构采用化整为零，分块吊装后浇注一体的设计方案。因该桥桥面极宽，达  $44.4\text{ m}$ ，为保证节段吊装重量小于  $40\text{ t}$ ，桥面横桥向分成 5 段，顺桥向分成 15 段（每吊杆处一段），全桥共分 45 段，横桥向接缝长  $1.0\text{ m}$ ，顺桥向接缝长  $3.0\text{ m}$ 。

6.2 拱肋整体吊装

该桥设计采用先拱后梁的施工方式，中拱重约  $80\text{ t}$ ，边拱重约  $60\text{ t}$ ，重量较轻，为提高拱肋安装精度，确保工程质量，设计采用地面拼装，整体吊装方案。

6.3 桥面横梁的超低高度

因该桥桥面宽度极宽（为国内罕见），为降低梁高，减短全桥总长，以节省投资，其设计关键是超低高度横梁，通过设计攻关，大胆采用以下先措施，确保了超低高度横梁得以成立。

(1) 布置三拱肋，减小横梁跨径。

(2) 纵、横梁、桥面板浇筑成一体，使梁部成网格状，呈现纵、横协同的空间受力形态。

(3) 采用拱、梁组合体系，两者协同受力；在不牺牲景观的前提下，适当加大拱肋尺寸，以减小梁部整体状态受力。

6.4 生动的桥梁景观

赵家沟是浦东新区重要的河道，赵家沟沿线桥梁景观要求极高。为构造生动的桥梁景观，设计采用现代与古典相结合的设计手法。

(1) 通过现代三维效果手法，比选出尺寸恰好的拱肋，与竖直的吊杆、微弯的梁部构图成古典的竖琴，预示谱出浦东的美好明天。

(2) 橘红的拱肋、银白的吊杆，与清水混凝土构造古典与现代相协调的生动景观。

(3) 轻盈的人行踏步顺拱肋下延，外形流畅，人行护栏立柱上圆下方，富于韵律，浑圆天成。

(4)折叠形的桥墩,既有效减短承台长度,缩短桥梁跨径(该桥斜交),又动感十足。

### 6.5 独特的预应力布置

拱脚处受力复杂,部分纵向预应力束上弯,与拱脚处主拉应力方向一致,改善拱脚受力,有效减小拱脚部位尺寸。

### 6.6 临时预应力束与永久预应力束的高效统一

该桥吊装构件数目多达45块,加上三条拱肋的吊装及拱肋内混凝土灌注,施工步骤较多,顺桥向水平力及位移随施工进度不断变化,为确保施工过程桥梁结构的安全,设计一般采用张拉临时钢束平衡顺桥向水平力、控制拱脚位移(该桥控制拱脚位移不大于1.5 cm),等永久钢束张拉到位后,再放张临时钢束。该桥通过加劲纵梁钢束的合理布置,利用部分永久顶、底面束作为临时束,实现临时预应力束与永久预应力束同一。

### 6.7 整体桥面、拱梁组合的卓越性能

纵、横梁预制构件,通过纵向的纵梁钢束、桥面板钢束,横向的横梁钢束,有效的将纵、横梁、桥面板浇筑成整体,呈现整体的空间受力形态;拱梁组合使体系刚度大大提高。通过赵家沟大桥竣工试验报告可知,在纵梁跨中最不利加载下,纵梁的挠度值为8.3 mm,小于平面杆系计算的9.6 mm,与计算跨径的比值为1/10241,大大低于桥规的允许值1/800。纤细的尺寸,高效的构造,造就该桥卓越的性能。

## 7 钢管拱混凝土的倒灌顶升工艺

该桥的施工关键因素之一是大体积钢管拱混凝土的浇注。结合工程建设,通过“倒灌顶升钢管拱高性能混凝土的研究与应用”的课题研究,旨在解决混凝土泵送浇注性能、流动性保持性能、补偿收缩性能。该课题已通过科学技术成果鉴定。

针对钢管混凝土桥拱中采用的泵送倒灌顶升法先进施工工艺,通过一系列实验室和现场模拟试验,在国内外首次研制成功初始坍落度不小于220 mm,坍落扩展都不小于400 mm(实际500 ~

600 mm),并能在6~8 h内基本不产生损失,泌水率为0,粘聚性好,能保证倒灌顶升施工工艺顺利实施的C50补偿收缩自密实高性能混凝土。

所研制的高性能混凝土具有良好的自密实性(自密实度为90%以上)、较低的水化热温升效果(实测内外最大温差为仅为17℃)、较好的补偿收缩性(28 d自由膨胀率 $>100 \times 10^{-5}$ )。通过试验确立了能较好反映自密实高性能混凝土性能的测定方法(如坍落度与坍落扩展度测定法结合,并引入“自密实度”和“钻芯抗压强度比”等新概念)。提出能较好反映钢管拱内混凝土强度发展和微膨胀性能的模拟测试方法,如强度试件塑料薄膜密封同条件养护,收缩变形试件薄膜密封同条件养护等。首次提出了对施工后的钢管混凝土拱的性能进行超声波探测和敲击法相结合的无损监测方法,并通过钻孔检测进行了验证,证明该方法较适合对钢管混凝土拱浇注质量进行合理检测。强度检测表明:3个钢管混凝土拱浇注过程中,混凝土同条件密封养护试件的28 d抗压强度均在60 MPa以上,超过设计强度等级C50的要求。

## 8 结语

近年来,城市桥梁的发展非常迅速,桥梁形式丰富多彩,钢管系杆拱桥以其刚(拱肋)、柔(吊杆、低纵梁)相济的形态、优异的力学性能,较好地解决了大跨拱桥在软土地基的建造难题。

赵家沟大桥经过精心的结构构思、精细的结构设计,通过上述结构特点,降低了桥梁结构高度,减短了桥梁长度,节省了工程造价;较好地解决了上部结构的安装精度及安装阶段受力的不确定性,降低了对上部纵横梁安装设备的吊装吨位要求;成为了地区标志性建筑。

### 参考文献

- [1]金成棣.预应力混凝土梁拱组合桥梁—设计研究与实践[M].北京:人民交通出版社,2001.

## 亚行2亿美元支持东北公路建设

亚行日前表示,将提供2亿美元贷款支持改造中国东北地区黑龙江省鸡西至讷河公路项目。这是亚行第一次通过贷款项目支持低等级公路项目。

该项目将升级改造全长428 km的省级公路,以及与该项目连接的170 km的农村公路。

据介绍,该项目总投资5.2455亿美元,其中亚行贷款约占38%。亚行贷款来自于普通资金来源(即硬贷款),还款期限为25年。国开行也将为该项目提供1.488亿美元的贷款,其余资金由交通部和黑龙江省政府配套。