

# 大跨度中承式钢管混凝土拱桥设计

陈勇勤<sup>1</sup>, 邢 燕<sup>2</sup>, 杨洁琼<sup>1</sup>, 胡亚琴<sup>1</sup>

(1. 浙江省公路水运工程咨询公司, 浙江 杭州 310004;

2. 大连市政设计院有限责任公司, 辽宁 大连 116011)

**摘 要:** 以大连市开发区滨海路四号桥为例, 介绍大跨度中承式钢管混凝土拱桥的总体设计、平面静力分析、空间静力分析、稳定分析和施工工艺的要点。

**关键词:** 拱桥; 钢管混凝土结构; 系杆拱; 桥梁设计

**中图分类号:** U444.22; TU528.59 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1671-7767(2007)03-0018-03

## 1 工程简介

大连开发区滨海路, 是继大连市内滨海路之外的又一条著名滨海景观旅游线路。滨海路四号桥位于这条旅游线路的中部, 桥梁走向南北, 背靠山峦, 面临黄海。建设单位对该桥的景观要求极高, 同时要求尽量降低造价, 减少维修养护费用。该设计以美观、靓丽、新颖、独特为出发点, 同时兼顾到实用经济、安全合理。该桥的自然条件如下。

(1) 水文: 桥址与海岸的距离为 200 m 左右, 潮汐对该桥没有影响。

(2) 气象: 桥位紧靠黄海, 历年最大风速为 29 m/s, 发生在 4 月; 极大风速为 48.7 m/s, 发生在 8 月。通常夏季盛行东南风, 其它时节以西北风为主。8 月平均最高气温为 27.5℃, 1 月平均气温为 -5.5℃, 属寒冷地区。最大冻结深度 0.5 m。

(3) 地质: 桥址处为沟谷, 设计桥面和谷底的最大高差约 15 m, 沟谷边坡坡度为 1:2, 谷底为旱地。该地区石英岩广泛分布, 地质钻孔由上至下依次为素填土、碎石、强风化石英岩、中风化石英岩。其中, 中风化石英岩岩面较浅, 岩层稳定, 是良好的持力层。

综合考虑地质条件和周围景观环境, 在方案设计中, 共选择 3 个方案: 自锚式悬索桥、V 形墩连续梁桥、中承式钢管混凝土拱桥。上述方案经开发区有关领导及专家讨论评审, 最终选定主拱为 160 m 跨的中承式钢管混凝土拱桥, 采用单索面、异型拱肋。桥面系采用三跨连续梁体系, 桥梁全长 180 m, 主跨 150 m, 两边跨各 15 m。滨海路四号桥布置示意图 1。

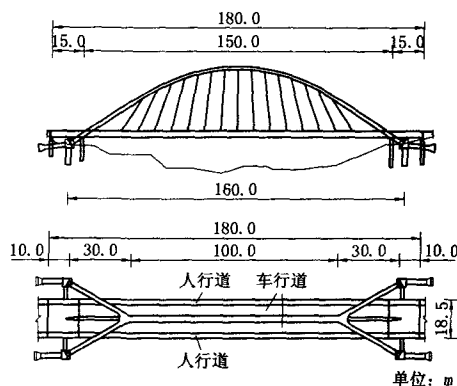


图 1 滨海路四号桥布置示意

## 2 总体设计

### 2.1 主要设计技术标准

(1) 桥面宽度: 桥面总宽 18.5 m。

(2) 设计速度: 60 km/h。

(3) 荷载标准: 车辆荷载为公路—I级; 人群荷载为 2.5 kN/m<sup>2</sup>; 温度影响力按年均升温 15℃、降温 25℃考虑; 风载: 基本风压强度取 750 Pa; 地震基本烈度为 6 度, 按 7 度设防。

### 2.2 拱肋

拱肋中段采用圆端形钢管混凝土<sup>[1]</sup>, 肋高 1.5 m、宽 3.2 m。拱轴线为二次抛物线, 抛物线方程为  $Y=6.6X^2/1\ 000$  (坐标原点位于拱顶中心线位置)。拱肋两端为人字形, 拱轴线为直线, 采用直径为 2 m 的圆形钢管混凝土。中拱肋和边拱肋的拱轴线在相交处相切。

该中承式钢管混凝土拱桥计算跨径 160 m, 拱肋矢跨比 1/4.32, 矢高 37.036 m。

收稿日期: 2007-02-01

作者简介: 陈勇勤(1975-), 女, 工程师, 1998年毕业于重庆交通学院桥梁工程系, 工学学士, 2001年毕业于重庆交通学院桥梁与隧道工程专业, 工学硕士。

钢拱肋内填充 C40 微膨胀混凝土,拱肋钢材采用 Q345C。

### 2.3 吊索

吊索采用  $\phi 7$  mm 镀锌钢丝束,外包 PE 防护,冷铸锚头锚具。吊杆在拱肋上为锚固端,在主梁上为张拉端。

吊索间距:拱端 6.4 m,梁端 8 m,共 15 根。

### 2.4 桥面系

主桥桥面系采用连续梁体系,分别支承在 2 个桥台和 2 个桥墩上。

主梁采用预应力混凝土箱梁。箱梁横桥向为单箱单室断面,梁高 3.0 m。箱梁顶板厚 25 cm;底板厚 22 cm;斜腹板厚 20 cm。箱梁挑臂长 3.5 m,底板宽 6 m。箱梁每隔 4 m(局部区域为 3 m)设有斜撑,在吊索锚固处均设有加强型斜撑。梁端部和桥墩处设有横隔梁,厚均为 1.5 m。桥梁横断面构造见图 2。

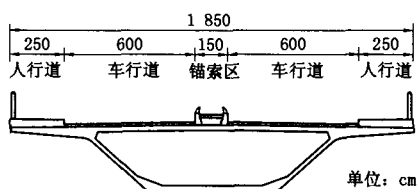


图 2 桥梁横断面示意

在箱梁底板和顶板中,施加纵向预应力;在顶板中施加横向预应力,横向预应力钢索等间距 0.5 m 布置;斜撑中布置预应力粗钢筋,斜撑为预制结构,预制时留出张拉孔,预应力粗钢筋现场张拉,采用一端张拉,张拉端设在箱梁顶面。

箱梁顶面铺装采用厚 8 cm 塑料纤维混凝土(FC30)找平层和厚 5 cm 中粒式沥青混凝土,在找平层之上做防水处理。

### 2.5 下部结构

全桥共有 4 个拱座,每个拱座基础采用 1 根  $\phi 2500$  mm 的挖孔桩,桩尖进入中风化石英岩。拱座往桥台侧设有撑杆,以平衡拱肋纵桥向水平推力。撑杆采用混凝土实心断面,尺寸为  $2.5\text{ m} \times 2.5\text{ m}$ 。每侧 2 个拱座之间用预应力混凝土横向拉杆连接,以抵抗拱肋横桥向水平推力。拉杆长近 35 m,下部采用 2 根  $\phi 1200$  mm 挖孔桩支承,以支承拉杆的自重,桩尖进入中风化石英岩。拉杆采用  $1.6\text{ m} \times 1.2\text{ m}$  实心断面。

桥墩基础采用  $\phi 1500$  mm 的挖孔桩,桩尖进入中风化石英岩。

桥台采用盖梁式桥台,基础采用 4 根  $\phi 1500$

mm 的挖孔桩,桩尖进入中风化石英岩;台帽采用钢筋混凝土结构。

## 3 结构分析计算

### 3.1 平面静力分析

平面静力分析采用“桥梁结构线性、非线性分析综合程序系统 BAP”和“桥梁结构线性、非线性施工分析系统 FWD”进行。主梁按三跨连续梁计算,结构离散时,共划分 183 个单元。

根据实际情况,将主桥的施工过程模拟为以下几个施工阶段:

(1) 满堂支架就地分段浇筑箱梁,张拉主梁预应力筋。

(2) 在主梁上搭设支架,分段安装钢管拱段并焊接,灌注钢管拱内混凝土。

(3) 安装吊索,吊索在拱肋上锚固。

(4) 拆除梁上支架,在主梁内,从中间到两边,用千斤顶对称张拉吊索,一次到位。

(5) 拆除全部临时支架,安设中央分隔带、人行道缘石、步道板、栏杆等附属设施。

(6) 铺装桥面、安装伸缩缝。

经计算分析<sup>[2~4]</sup>,该桥在施工阶段、营运初期、营运后期(考虑成桥 3 年后的收缩徐变)的受力和变形均满足规范要求。

### 3.2 空间静力分析

空间静力分析的目的是确定结构横向和横撑等构件的受力特点,确定横向预应力钢筋的布置,同时验算平面计算的正确性。

采用有限元计算软件 ANSYS 建立该桥的有限元分析模型。全桥设置空间节点 3156 个,划分各类单元 3706 个。其中拱肋采用空间梁单元模拟,拱肋钢管和填充混凝土分别采用 2 个单元模拟,在节点处相连接;主梁采用壳单元模拟;吊索采用空间杆单元模拟。

经计算分析<sup>[3]</sup>,该桥在不同工况下各主要构件的最大、最小拉应力均满足规范要求。

### 3.3 稳定分析

稳定分析计算说明:①采用静力分析中的模型与边界条件;②采用静力分析中的吊索内力;③不考虑结构中施加预应力的影响;④采用线性屈曲分析法进行求解。计算结果汇总于表 1。

计算结果表明<sup>[3]</sup>,在不同工况下该桥第 1 阶稳定系数均大于规范要求的最小值 4.0。因此,该桥稳定性满足规范要求。

表 1 稳定分析计算

工况	第 1 阶稳定系数	第 2 阶稳定系数	第 3 阶稳定系数
恒载	4.580	9.137	9.552
恒载+人群荷载	4.423	8.916	9.174
恒载+静风荷载	6.153	9.136	9.672

4 施工工艺

4.1 钢拱肋加工

拱肋的加工须严格按《钢结构工程施工质量验收规范(GB 50205—2001)》执行。

4.2 拱肋油漆工艺

本桥地处沿海地带,对钢结构有较高的防腐要求。防腐涂层的使用寿命应不小于 15 年。

4.3 拱肋混凝土的浇筑

拱肋应分别在拱脚和分叉交接点处开设灌浆孔,孔径与灌浆设备相对应;在拱顶开设排气检查孔;拱肋泵送混凝土应对称进行,自 4 个拱脚同时开始,各分叉直线段须一次浇完,并立即从分叉交接点处的浆孔向桥跨中央对称泵送混凝土,直至拱顶压

满为止<sup>[4]</sup>。

5 结 语

随着对钢管混凝土研究的深入,应用钢管混凝土建成的拱桥越来越多。就国内建成的中承式钢管混凝土拱桥来看,单拱肋多应用在桥宽不大的桥梁中;桥面较宽的情况下,多采用平行的双拱肋或提篮拱或多拱肋,吊索为双索面或多索面。单索面、异型拱肋形式的拱桥,曾出现在人行桥和小跨径景观桥上;该桥型用在大跨径且桥面宽度较宽的车行桥中,在国内尚属首次。

参 考 文 献:

[1] 钟善桐. 钢管混凝土结构[M]. 北京:清华大学出版社, 2003.  
[2] 范立础. 桥梁工程[M]. 北京:人民交通出版社,1996.  
[3] 陈宝春. 钢管混凝土拱桥设计与施工[M]. 北京:人民交通出版社,1999.  
[4] CECS 28:90,钢管混凝土结构设计与施工规程[S].

Design of Long Span Half-Through Concrete-Filled Steel Tube Arch Bridge

CHEN Yong-qin<sup>1</sup>, XING Yan<sup>2</sup>, YANG Jie-qiong<sup>1</sup>, HU Ya-qin<sup>1</sup>

(1. Zhejiang Highway and Water Transportation Engineering Consulting Corporation, Hangzhou 310004, China; 2. Dalian Municipal Engineering Design Institute Co., Ltd., Dalian 116011, China)

**Abstract:** Taking the 4th Binhai Road Bridge in the Development Zone of Dalian City as an example, this paper presents the key points of the overall design, plane and spatial static analysis, stability analysis and construction technology of long span half-through concrete-filled steel tube arch bridge.

**Key words:** arch bridge; concrete-filled steel tube structure; tied arch; bridge design