

文章编号: 0451-0712(2004)12-0024-04

中图分类号: U448.172.5

文献标识码: B

# 孙家凹上跨桥总体结构设计

周泳涛, 李毅谦, 闫立平, 王相慧

(路桥集团桥梁技术有限公司 北京市 100102)

**摘 要:** 介绍了宁淮高速公路孙家凹上跨桥的总体设计, 包括桥跨布置、结构形式、技术要求、施工方法、结构受力计算、稳定性分析及结构动力性能分析等有关情况。

**关键词:** 单肋钢管混凝土拱桥; 结构总体设计; 施工; 结构计算分析

## 1 设计原则

在宁淮高速公路孙家凹上跨桥的设计中, 甲方提出在满足高速公路总体布设的情况下, 要做到上跨桥的平、纵、横与下穿的高速公路线型协调一致, 平顺流畅、美观、安全、经济; 并充分注重景观设计, 把美学思想贯穿于全桥设计中。针对以上要求, 我们在桥型方案构思时主要从以下几个方面考虑。

(1) 桥孔的布设, 必须满足桥下通车净空的要求, 高速公路以内不得设置桥墩, 以保证桥下通车的视线开阔, 高速公路上行车平顺、流畅、舒适、安全。

(2) 桥型方案除满足各个方面使用功能外, 主桥桥型结构, 力求技术先进、结构新颖、施工方便、使用耐久、外形美观, 能反映新世纪国内建桥技术的新水平、新结构、新工艺, 工期短, 施工方便。

(3) 在桥型方案上力求新颖悦目, 融入相邻的环境, 在细部构造上, 应充分借鉴城市桥梁在处理结构外观方面的经验, 增加桥下视觉的美观程度。

(4) 所有施工过程均在陆上进行, 施工难度较小, 施工质量容易保证, 施工工期容易控制, 在进行桥型方案构思时充分利用这一有利条件。

## 2 总体设计

在以上设计原则的前提下, 我们提出了以主跨为 60 m 的单肋钢管混凝土拱作为孙家凹上跨桥的推荐方案, 这种桥型方案在国内众多钢管混凝土拱桥结构形式中尚属首次(捷克共和国 1996 年在世界公路桥梁建设中, 首次在跨越 Brno-Vienna 高速公路的上跨

拱桥设计曾经用过这种结构形式), 得到了桥梁方案评审会专家的一致好评。

孙家凹上跨桥位于宁(南京)淮(淮安)高速公路江北段 K23+550 处, 高速公路路线高程为 21.365 m, 桥梁起点桩号为 DK0+304.196, 桥梁止点桩号为 DK0+392.235, 桥梁全长 88.04 m。经过多方案比较, 推荐主跨 60 m 单肋拱钢管拱桥为孙家凹桥的桥型方案, 拱轴线采用  $m=2.814$  的悬链线, 主跨  $L_o=60$  m, 矢高  $f=8.0385$  m,  $f/L_o=1/7.464$ , 桥面板采用预应力混凝土结构, 用支架支承于主拱圈上, 全桥形成连续结构, 只在桥台处设伸缩缝和盆式橡胶支座。桥台采用肋板式台, 拱座采用扩大基础整体现浇, 全桥长 88.0 m, 全宽 9.0 m(含防撞护墙)。桥型总体布置见图 1 所示。孙家凹上跨桥建成效果见图 2 所示。

## 3 技术标准

- (1) 公路等级: 平原微丘区三级公路;
- (2) 荷载标准: 汽车—20 级, 挂车—100;
- (3) 计算行车速度: 60 km/h;
- (4) 桥面坡度: 纵坡不大于 6.6%, 横坡 2.0%;
- (5) 地震烈度: 地震基本烈度 6 度;
- (6) 通车净空: 35 m×5.5 m;
- (7) 桥梁宽度: 桥梁宽度 9.0 m。

## 4 桥梁结构设计

### 4.1 主拱圈

桥梁采用 60 m 单肋钢管混凝土拱, 拱圈轴线



胶支座。为了防止主梁结构侧倾失稳,在两边桥台处设置横向限位装置,保证桥梁结构的横向稳定性。

#### 4.3 支撑架

支撑架基本垂直于拱圈,以确保拱圈径向受力。三角形支撑架带底座钢板在工厂加工成型后,运至工地,吊装架于主拱圈之上与拱圈临时栓接定位最后再焊接,三角支架顶部横梁采用槽钢,两根立柱由钢箱构成,钢箱与横梁焊接形成三角支架。由于横梁的长度不变,立柱高度在 0.891~10.212 m 范围内变化,所以立柱的坡度是变化的,接近跨中的 4 根三角支架由于高度较矮(0.891~1.769 m),刚度较大,采用钢箱结构构成支撑架,钢箱内加劲,纵向宽度为 0.35 m,板厚 20 mm。最外边缘 4 根三角支架立柱钢箱尺寸为  $350\text{ mm} \times 350\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ ,三角支架高度在 5.156~10.212 m 范围内变化,槽钢横梁埋于连续梁内,立柱钢箱内用 50 号混凝土填充。由于刚度分配原因,其余 3 根三角支架所分配的弯矩较大,立柱钢箱尺寸较大为  $500\text{ mm} \times 700\text{ mm} \times 35\text{ mm}$ ,高度在 2.683~4.55 m 范围内变化,顶部槽钢横梁埋于连续梁内,立柱钢箱内加劲。

### 5 施工

本工程均在岸上施工,基础施工难度相对较小,因此准备工作相对容易。施工工艺及质量检查标准,均按《公路桥涵施工技术规范》(JTJ 041—2000)和《公路工程质量检验评定标准》(JTJ 071—94)的规定执行。

#### 5.1 拱圈结构施工

本桥为上跨桥梁,为了减低支架高度,在挖方段开挖时考虑到布置模板支架基础的需要,按照接近拱圈的弧度进行初步有限开挖,明挖拱脚扩大基础,现浇 30 号素混凝土形成拱座基础,预埋主拱圈连接件,绑扎钢筋网浇筑 30 号混凝土拱座,然后浇筑素混凝土整体基础。架设满堂支架,设置施工预拱度,预压支架。主拱分 7 个节段架设空钢管,带加劲板的空钢管全部在工厂制作,焊缝质量需达到国家一级焊缝标准,运至工地后先架设较重的带有底座钢板和槽形加劲板的拱脚节段,与拱座预埋件连接后,浇注拱座混凝土主拱钢管埋入拱座内 1.5 m。然后继续架设其余拱段,调整架设各拱段的位置,在所有拱段架设完毕符合设计要求后,对其进行单面坡口熔透焊接,焊缝质量需达到国家一级焊缝标准,形成空钢管主拱。

满堂支架施工前,应根据桥跨结构的特点对支架

进行设计及验算,使其具有足够的刚度和强度,以满足结构受力、变形及线形要求,确保桥梁的浇注质量。

#### 5.2 支撑架结构施工

三角支撑架带底座钢板和横梁槽钢整体在工厂制作,焊缝质量需达到国家一级焊缝标准。然后整体运至工地,待拱圈形成以后,用临时支撑连接起来的三角支撑带底板钢板架设于拱圈之上,再用高强螺栓栓接于主拱钢管上,待全部支架架设完毕后再把底座钢板焊接在拱圈上。最后灌注边上 4 个支撑架和拱圈混凝土,沿两个拱脚对称灌注 50 号混凝土,直至沿拱顶排浆管喷出为止,最后检查混凝土灌注质量以及灌注的饱和程度。

#### 5.3 主梁结构施工

(1)主梁在满堂支架上从跨中向两边对称现浇施工。待混凝土强度达到设计要求后,张拉预应力钢束,最后封锚形成连续梁。主梁施工完成后,再施工桥台,待全部施工完成后由两边向中间对称拆除支架。

(2)除为抵消支架弹性变形而设置的预拱度外,支架不另设预拱。桥面主梁采用一次浇注,浇注混凝土前应对支架进行预压,预压重量不小于箱梁自重,以消除支架的非弹性变形和不均匀沉降。

(3)支架施工前,应根据桥跨结构的特点对支架进行设计及验算,使其具有足够的刚度和强度,以满足结构受力、变形及线形要求,确保箱梁的浇注质量。

(4)主梁外模板应采用大块钢模板。钢模板初次使用时应将与混凝土接触面上的锈迹清除干净。不得采用对混凝土表面有污染、有腐蚀的废机油、肥皂水、洗衣粉等材料代替脱模剂。

#### 5.4 下部结构施工

明挖拱脚基础,现浇 30 号素混凝土形成拱座基础,预埋主拱圈连接件,绑扎钢筋网浇注 30 号混凝土拱座。在满堂支架上立模现浇桥台肋板和帽梁,待主梁预应力束全部张拉结束后,再浇注背墙、耳墙、桥台搭板等下部构造,最后回填土保护拱脚和肋板式桥台。全部施工完毕后,拆除桥面下满堂支架,开挖高速公路路基。

本桥在国内是第一次修建,有一定的施工难度,悬链线主拱钢件加工较为复杂,建设单位应委托有经验的钢结构加工厂进行钢结构加工,聘用有经验的监测单位进行严格的施工控制,施工控制人员应严格按照施工工序进行验算,确保在各工序过程中结构安全稳定、标高坐标精确。

## 6 单肋钢管混凝土拱结构分析

### 6.1 全桥结构受力分析

根据桥梁的实际情况用有限元建立模型,针对结构特性,根据施工方法对结构整体和细部进行详细分析。本桥采用满堂支架施工,桥梁一次落架成形。根据这种施工方法建立如下模型,并进行整体结构分

析。后发现拱脚应力不够,采用槽钢加劲板加劲后,又在拱脚进行局部分析,反复调整,直至最后得出主拱钢管和混凝土的应力和主梁应力,满足设计规范要求为止。本次建模主拱、主梁和支架采用梁单元,拱圈拱脚加劲板采用板单元。全桥结构受力分析结果见表 1。

表 1 结构分析计算结果 MPa

位置	拱圈钢管应力		拱圈混凝土应力		支架应力		钢箱应力	
	上缘	下缘	上缘	下缘	钢	混凝土	左缘	右缘
拱顶	—115.8	—44.4	—22.0	—8.9				
拱脚	—31.2	—56.4	—9.52	—11.2	—167.0			
$L_o/4$	—134.0	—81	—26.4	—15.1	—199.5			
支架					—92	—12.3	—124.0	—122.1

拱脚轴力为 13 549 kN,弯矩为—2 347 kN·m,拱顶弯矩为 2 595 kN·m,恒载位移为 55.18 mm,恒活载位移为 66.75 mm。表 1 中数值均满足现行规范要求。

### 6.2 单肋钢管混凝土拱稳定性能分析

根据建立的模型,利用有限元程序对全桥进行稳定性能分析;通过分析得出全桥失稳模态为纵向面外失稳,稳定系数为 5.9,证明该桥的稳定性是可靠的。

### 6.3 单肋钢管混凝土拱动力性能分析

动力特性研究是进行谐响应分析、谱分析和瞬态动力学分析的基础,对研究单管拱桥的动荷载行为具有很大的影响。在该桥的设计阶段,为了得到精确的振型和频率,以便进行谱分析,需要用比较精确的数值方法计算。本次计算采用的是 Block Lanczos 求解模态特征值和特征向量,计算结果见表 2。

### 6.4 桥梁结构的静载和动载试验

在全部完工桥梁上布置车辆进行加载。车辆第一次设置在半桥的 2 个车道内。第二次所有车辆设置在全桥的一侧车道内。在动载试验中分别测量了桥梁的自然振幅和频率。

## 7 结语

通过宁淮高速公路孙家凹上跨桥的设计实践,为我国在单肋钢管混凝土拱桥的应用和研究领域提供了一份宝贵的经验。单肋钢管混凝土拱桥是一个

表 2 自振频率及振型特征

序号	周期 $T/s$	频率/Hz	对应的主要振型
1	0.601 5	1.662 5	桥面梁面内反对称弯曲,纵飘
2	0.496 6	2.013 5	桥面梁面内对称弯曲,纵飘
3	0.381 1	2.623 9	桥面梁面外对称弯曲
4	0.304 2	3.286 7	桥面梁面内反对称弯曲,纵飘
5	0.270 3	3.699 7	桥面梁扭转
6	0.214 6	4.660 7	桥面梁扭转
7	0.177 5	5.635 0	桥面梁面内对称弯曲
8	0.140 2	7.131 1	桥面梁扭转
9	0.108 8	9.187 8	桥面梁面内对称弯曲
10	0.107 5	9.305 0	桥面梁面内反对称弯曲,纵飘

桥型美观大方、结构新颖、施工简单快捷的桥型,通过结构静力计算、稳定性能分析和动力特性分析,表明这种桥梁结构型式完全能够满足使用功能的要求,在桥梁建设领域具有较大发展空间。

## 参考文献:

[1] Magazine of the institution of Civil Engineers January 2000(《土木工程学院杂志》,2000 年 1 月)。  
[2] 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。  
[3] 钟善桐. 高层钢管混凝土结构[M]. 哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,1999。