

双层桥面钢桁架连续梁设计与施工

汪为新 陈祺

华设计集团股份有限公司

摘要: 苏州星港街北延跨沪宁高速公路主桥采用双层桥面钢桁架连续梁,一跨跨越高速公路,主桥采用顶推法施工,施工期间高速公路中分带不设临时墩,不影响高速公路正常通行。本文主要介绍了跨高速公路双层桥面钢桁架连续梁总体设计方案、结构设计、结构计算、施工方案等,可为类似工程提供参考和借鉴作用。

关键词: 双层桥;钢桁架连续梁;跨高速公路桥;顶推施工

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2021.24.070

概述

星港街北延跨沪宁高速公路桥是苏州工业园区打通跨沪宁高速公路节点、加强金鸡湖西片区与城北片区交通联系的重要通道。沪宁高速公路苏州段作为是全国公路交通大动脉,交通量大,工程安全要求高。星港街北延跨沪宁高速公路桥主桥采用(38.07+67.68+38.07)m双层桥面钢桁架连续梁,是全国首座一次顶推跨高速公路的双层桥,上层主线桥为双向六车道,下层辅道桥为双向两车道加人非慢行系统,如图1。本项目充分利用钢桁架的结构特点,在建设条件受限的情况下,采用双层桥面结构成功解决了干线交通和集散交通同时跨越高速公路节点的难题。主桥一跨跨越高速公路,采用一次性顶推施工^[1],高速公路中分带不设临时墩,施工不影响高速公路正常通行。该桥采用双层桥面,节省占地,减少拆迁,降低造价。跨沪宁高速公路主桥采用三角形钢桁架,结构新颖、通透、美观。

一、设计标准

(1) 道路等级:

主线(上层桥):城市主干路;辅道(下层桥):城市次干路。

(2) 设计速度

主线(上层桥):50km/h;辅道(下层桥):30km/h。



图1 跨沪宁高速公路双层钢桁架桥

(3) 净空高度

上跨沪宁高速公路 $\geq 5.2\text{m}$,城市被交道路 $\geq 4.5\text{m}$ 。

(4) 设计荷载

汽车荷载:城-A级;

人非荷载:按《城市桥梁设计规范》(CJJ11-2011)第10.0.5、10.0.6条取用。

二、桥梁总体设计

苏州星港街北延跨沪宁高速公路节点桥梁方案受道路功能、被交城市道路、沪宁高速公路交通安全、沿线拆迁等多方面因素控制^[2],桥梁总体设计主要考虑如下方面:

(1) 星港街为苏州工业园区南北向重要的交通性城市主干路,其北延段主要采用主线高架桥和地面辅道的形式,主线主要服务工业园区核心区与娄葑北部片区及相城区的干线交通联系,辅道主要服务高速公路两侧地块,加强区域内的交通联系,跨高速公路节点桥梁需同时满足干线交通通行和地块内部集散的功能。

(2) 施工期间为保证高速公路的正常通行和交通安全,主桥需一跨跨越高速公路,采用顶推施工方案。沪宁高速公路为双向八车道,路基横断面宽42米,桥墩承台需设置在高速公路两侧排水边沟外,因此主跨跨径采用67.68米。

(3) 沪宁高速公路距离两侧城市次干路(和顺路、扬东路)距离较短,辅道桥梁在平交口落地困难。在满足道路纵坡要求的前提下,为保障辅道桥梁落地后能与和顺路、扬东路进行交通沟通,主桥应采用结构高度较小的桥型方案。

(4) 跨越沪宁高速公路桥在满足交通功能条件下,若采用单层平铺方案,桥梁宽度大,沿线涉及大量厂房,拆迁量大。此外,单层桥梁主辅断面需分幅施工,多次顶推过高速公路,施工繁琐,工期长,安全风险性大,工程造价高。

根据上述控制因素的分析,通过对跨沪宁高速公路节点桥梁的方案比选,确定主桥采用(38.07+67.68+38.07)m三跨双层桥面桁架连续梁方案。上层桥为主线高架桥,采用双向六车道,与星港街南段主线高架桥相接。下层桥为辅道桥,采用双向机非混行车道加人行道,主桥标准横断面如图3。下层桥结构高度低,保证了辅道桥在满足净空要求的前提下,在和顺路、扬东路平交口前落地。

三、主桥结构设计

(1) 主梁结构形式的选择

主梁按材料划分,一般有三种形式:混凝土结构、全钢结构、钢-混凝土组合结构^[3,4]。

混凝土结构自重大,若上、下层均采用箱梁断面,梁高较大,下层通行净空难保证,若采用桁架结构,混凝土桁架的施工较为复杂,在节点处容易产生裂缝,而且这两种结构形式的施工方案均会对沪宁高速公路产生较大影响。钢-混凝土组合结构的自重介于钢和混凝土结构之间,但施工过程中仍需要进行现浇混凝土湿接缝,对沪宁高速公路仍有影响。因此,本桥主梁采用对高速公路影响最小的全钢结构。

(3) 钢桁架横断面形式

本桥采用双层桥面布置,断面形式可采用三樁主桁和双樁主桁两种形式。

双榀主桁断面上、下桥面的横向跨度较大，横梁高度相应较高，使断面较难同时满足沪宁高速公路和下层桥车行的净空要求，因此本桥采用三榀主桁断面，可降低横梁高度。

(4) 钢桁梁桁式的选择

钢桁梁的桁式是指钢桁梁在桥轴线方向的造型，一般有华仑桁、三角桁（又称纯华仑桁）、N形桁（又称普拉特桁）。

这三种桁式的区别在于腹杆的布置，从连续梁受力特点可知，采用华仑桁和三角桁比较合适，而三角桁有更简洁的外形、其应用也越来越广泛，故本桥采用三角桁形式。

(5) 桁架节点连接方案

本桥从美观性、施工性和对跨线高速的影响三个方面对桁架焊接节点和栓接节点进行了比较。

本桥跨越沪宁高速公路，焊接节点外观效果好、施工快，避免了运营期桁架栓接节点高强螺栓脱落对高速公路和下层桥正常通行安全的影响，因此本桥桁架节点采用焊接连接。

(6) 主桥上部结构设计

主梁采用全焊接双层桁架，共3榀主桁架，由于本桥需上、下层均可通行车辆，桁高主要由行车净空决定。引桥采用现浇箱梁，桥面系建筑高度比正交异形板纵横梁桥面系高，为保证主、引桥对接要求及结构受力要求，主桥桁高采用7.9m，主桁间距10.25m。上、下弦杆和腹杆均采用箱型。

节间长度较小时，弦杆杆端将产生较大的次弯矩，使杆件断面承受较大的次应力。此外，弦杆的整体节点处焊缝密集，疲劳问题特别突出。因此，需增加节段长度，减小弦杆的高度与节间长度之比，降低次应力，提高结构安全度。但是，鉴于三角桁架受力特点，腹杆和弦杆的夹角不应过小。综合考虑各方面因素的影响，采用8.46m的节间长度较为合适。

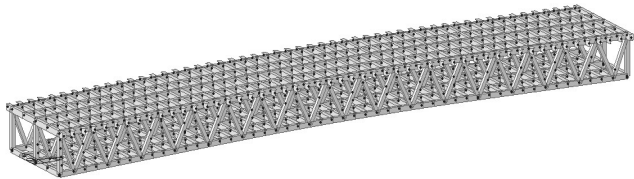
主桁架在节点处采用横梁连接，采用箱型截面。同时节点间设置2道横梁，横梁标准间距2.82m，采用工字型截面，桁架间上下层桥面各设置1道纵梁，全桥共计4道纵梁，采用工字型截面。

四、桁架结构的静力计算

(1) 计算模型

主桥上部结构分析采用midas程序进行计算，杆件采用梁单元模拟^[6]。分别包括成桥状态下恒载、活载、风作用、温度变化等荷载作用的计算。计算中按有关规范规定对各种荷载进行不同的荷载组合，对结构的强度、稳定、刚度和应力做了验算。

全桥结构有限元模型如图所示。



双层桥有限元模型

(2) 计算结果

1) 桁架杆件应力

在标准组合下桁架最大应力位于中主桁腹杆，其最大拉应力发生在中支点处第二根腹杆为118.9MPa；最大压应力发生在中支点处腹杆为117.8MPa。

在基本组合下桁架最大应力位于中主桁腹杆，其最大拉应力发生在中支点处第二根腹杆为151MPa；最大压应力发生在中支点处腹杆为148MPa。钢桁架梁桁架杆件及主梁结构应力均满足规范要求。

2) 刚度

在汽车活载（不计冲击力）的作用下，主梁的最大挠度值为10.8mm，挠跨比为：0.0108/67.68=1/6266 < L/500，满足规范要求。

五、施工流程

由于本桥结构复杂、施工难度较大，施工流程如下：

(1) 首先施工主桥及引桥桩基础、承台、墩身。然后在主桥边跨和引桥影响范围内搭设施工支架，并对支架压重以消除非弹性变形。待支架验收合格后，在支架上拼装全部钢桁架杆件及导梁，并在钢桁架节点下安装滑移上滑道，在支架顶安装通长的下滑道。

(2) 施工完主跨护栏后，不断向前进行钢桁架主桥顶推，将吊梁前段节点顶推至前方支承位置，转换支承状态。

(3) 调整导梁前段横向位置，继续顶推钢梁，直至钢桁架的端节点位于至和西路侧过渡墩墩顶，完成顶推施工。

(4) 顶推完毕后，拆除导梁，顶升钢桁架，安装钢梁支座，将钢梁支承于永久支座上。最后，拆除临时支架，施工引桥上层桥墩墩和引桥上、下层主梁，施工桥面铺装和附属设置。

六、结语

星港街北延跨沪宁高速公路主桥受各控制因素的影响，采用双层桥面钢桁架连续梁桥，为全国首座一次顶推跨高速公路的双层桥。本文通过对主梁结构形式、横断面形式、钢桁梁桁式、连接方式进行比选，对主桥的上部结构进行结构设计。通过本文介绍，希望能给类似工程的设计起到参考和借鉴的作用，并对顶推过高速公路提供施工指导。

参考文献

[1] 龚迎春. 大跨度钢桁架桥分段分节拼装与整体顶推技术研究[J]. 中国市政工程, 2020,(06): 97-101+117.
 [2] 曹峰, 冯绍海. 城市环境钢桁架桥梁的设计要点分析[J]. 城市道桥与防洪, 2018,(01): 34-36+9.
 [3] 王栋, 张卫红, 姜节胜. 桁架结构形状与尺寸组合优化[J]. 应用力学学报, 2002,(03): 72-76+166.
 [4] 沈圣, 杨鸣, 王欣如, 杨湛, 牛畅. 钢桁架桥的设计分析与优化综述[J]. 山西建筑, 2015, 41(15): 166-169.
 [5] 肖文. 钢桁架桥梁结构设计分析[J]. 交通世界, 2020,(34): 108-109.
 [6] 蔡宏伟. 钢桁架桥静力及动力特性探讨[J]. 山西交通科技, 2012,(02): 27-29.