

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2024.11.046

四肢异形主塔施工关键技术研究及仿真分析

胡智敏,丁伟亮,宁鑫森,曾冬雷
(广东省建筑设计研究院有限公司,广东 广州 510010)

摘 要: 邓州市穰城路跨湍河大桥为主跨(90+90)m 的空间框架式独塔钢 – 混组合梁斜拉桥,主塔采用四肢异形空间框架式独塔,设计总高为 75.5 m,由分离的四肢塔和横梁组成。以跨湍河大桥为研究实例,首先简述主塔总体施工流程,其次对于主塔的施工过程中的受力情况进行仿真数值分析,最后根据计算结果对设计进行优化,确保桥塔尤其是混凝土塔肢的全截面受压,从而确保主塔施工的安全性和合理性。研究成果可为日后同类工程的施工提供参考。

关键词: 斜拉桥;桥塔;仿真分析;施工阶段;设计优化

中图分类号: U445.4 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7716(2024)11-0194-04

1 工程概况

1.1 工程简介

本项目邓州市穰城路跨湍河大桥新建工程位于邓州市穰城路跨湍河位置,是邓州市老城中心城区纵向主干路穰城路向北延伸的重要纽带。主桥为主跨(90+90)m 的空间框架式独塔钢 – 混组合梁斜拉桥,主塔采用四肢异形空间框架式独塔,桥塔的设计总高为 75.5 m,采用现浇 C50 混凝土。主塔分别由上、中、下塔柱三部分构成,上塔柱为小半径的空间结构,高 23.23 m,中塔柱高 41.11 m,下塔柱高 11.15 m。索塔为陶豆式塔,四根塔柱犹如鼎形,塔身上部设有钢结构上横梁和预应力混凝土结构的中横梁^[1],斜拉索采用扇形布置于两圈横梁之间,在桥面以下再设置一圈钢结构下横梁及两道预应力拉杆(采用分期张拉的形式)。最终桥型效果如图 1 所示。

结合塔柱在结构特点和设计总高度上的要求,塔柱施工的混凝土浇筑过程分 26 个节段,其中标准施工节段高度为 4.16 m,下塔柱分 3 个节段、中塔柱分 10 个节段、上塔柱分 13 个节段施工。塔柱采用液压爬模和翻模的工艺施工。桥塔立面图如图 2 所示。

1.2 工程特点

(1)主塔总高度为 75.5 m,塔肢间距为 38~48 m,设计结构复杂,采用 C50 混凝土分段现浇,体量大,



图 1 桥塔效果图

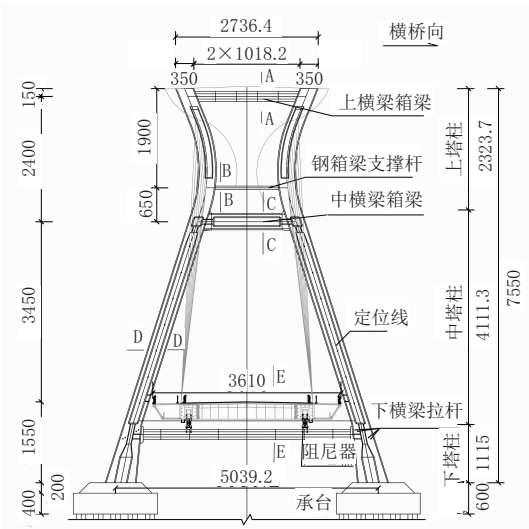


图 2 桥塔立面图(单位:cm)

工期长,施工要求高。

(2)框架主塔单肢塔柱倾角大,塔柱施工难度大,故在主塔施工时需要设置多道临时横撑;且施工时需实时监控调整内力,以保证施工安全性,因此需要对

收稿日期: 2024-03-04
作者简介: 胡智敏(1980—),男,工学硕士,教授级高级工程师,从事桥梁设计工作。

临时横撑进行合理设计,确保其承载力和稳定性^[2]。

(3)横梁体系的温度应力对工程结构有显著影响,温度变化会导致横梁热胀冷缩,产生应力,可能引发塔肢倾斜甚至损坏。

(4)横梁体系的结构尺寸及与塔柱的连接方式等都非常重要,需要根据计算结果优化横梁体系构造。

(5)本桥塔柱为混凝土桥塔,需确保塔肢基本全截面受压,以保证施工过程的安全。

2 总体施工流程

主桥采用空间框架式混凝土桥塔,采用分阶段施工方法建造。结合塔柱结构特点,主塔施工流程图和示意图如图3、图4所示。

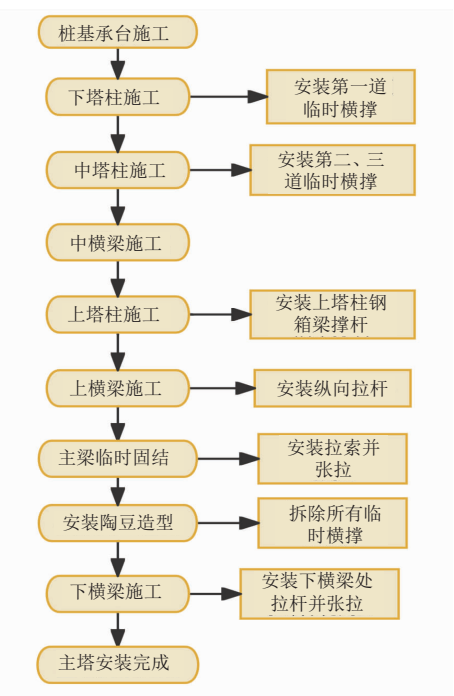


图3 主塔施工流程图

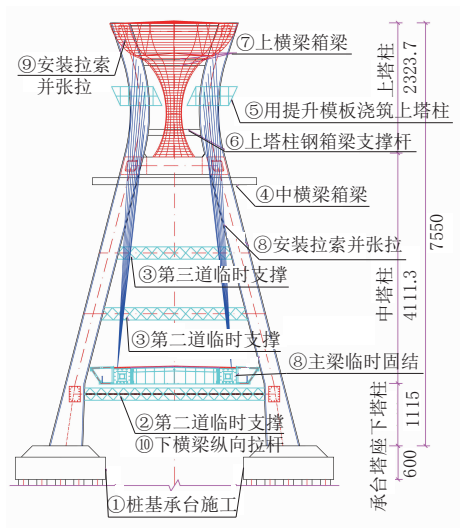


图4 主塔施工流程示意图(单位:cm)

3 施工过程仿真分析

利用大型通用仿真软件 ANSYS18.0 模拟计算施工过程中主塔的受力情况,通过对施工过程的仿真模拟计算,确保施工过程的合理性和安全性^[3]。

3.1 有限元模型和计算工况

对邓州市穰城路跨湍河大桥进行主塔施工阶段的仿真分析和成桥对比。作用在桥梁上的主要荷载包括成桥恒载、温度荷载与不均匀沉降荷载^[4]。本桥成桥恒载包括主塔构件结构自重、成桥索力、主塔混凝土中的横梁预应力及索塔拉杆的设计拉力荷载。对主塔混凝土纵横梁预应力和索塔拉杆设计拉力均采用初应变实常数进行模拟。该桥的合拢温度为15~20℃,整体降温时钢结构温度变化为-35℃、混凝土为-30℃;整体升温时钢结构温度变化为24℃、混凝土为19℃。依据《公路斜拉桥设计规范》(JTG/T 3365-01—2020)^[5],拉索与塔梁之间的温差变化取±15℃,沉降荷载取5mm,施工过程中的临时荷载包括支架结构荷载、施工平台荷载等。模板、振捣、堆料的荷载取2kN/m³,施工平台荷载取2.5kN/m³,脚手架的荷载取3kN/m³,荷载的组合方式分为如下4种主要类型。

- (1)组合一:恒载。
- (2)组合二:恒载+整体温差。
- (3)组合三:恒载+整体温差+索梁温差。
- (4)组合四:恒载+整体温差+索梁温差+沉降荷载。

构建桥塔有限元模型如图5所示^[6]。



图5 桥塔有限元模型

3.2 施工阶段计算结果

利用 ANSYS18.0 有限元软件计算设计施工过程中主塔的受力情况,得到施工阶段中最不利计算结果应力区间如图6所示。

根据仿真计算结果,可得结论如下:

- (1)主塔下的塔柱和中塔柱在施工过程中存在

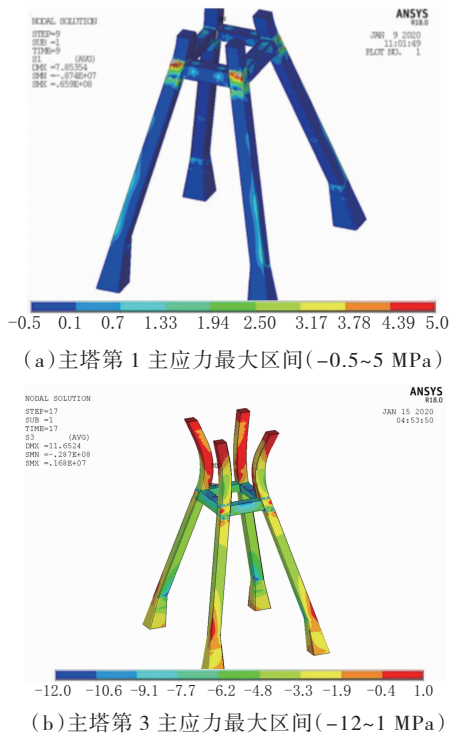


图6 主塔施工阶段应力最大区间

受拉区,由于塔支倾斜,临时横撑为被动支护,没有主动顶推力,所以在浇筑上塔部分塔身及添加第三道水平临时支撑时,在塔肢背部均出现了一定程度的受拉情况,最大主拉应力达到 2.50 MPa;

(2)在主塔与中横梁连接节点位置存在受拉区,为较大范围内大于 2.5 MPa、最大到 5 MPa 的第 1 主拉应力区域,该区域中主拉应力超过 2.5MPa 的块体单元分布在主塔与横梁结合部位的节点位置,范围较大;

(3)上塔柱与纵向拉杆位置处存在受拉区,最大第 1 主拉应力达到 3.78 MPa,需要关注该位置处的受力安全情况^[7]。

3.3 成桥阶段计算结果

成桥阶段根据荷载工况组合条件计算主塔原设计的结果应力,各荷载工况下的最不利结果值汇总如表 1 所列^[7]。

表 1 荷载组合计算最不利结果表

主塔节段(高程范围:102.2~177.7 m)/m	最大应力区间 /MPa
下塔柱高程范围 102.2~121.3	-19.7 ~ 10.0
中塔柱高程范围 121.3~146.5	-8.12 ~ 0.4
中横梁附近塔柱高程范围 146.5~156.2	-12.0~ 5.5
上塔柱高程范围 156.2~ 165.8	-8.9 ~ 3.7
上塔柱高程范围 165.8 ~177.7	-6.7 ~ 5.5

由表 1 可知,在现有荷载组合工况中存在会出现较大拉应力的情况,拉应力最大值可以达到 10 MPa,

位于下塔柱与横梁连接处,需引起注意。成桥阶段的应力最大区间如图 7 所示。

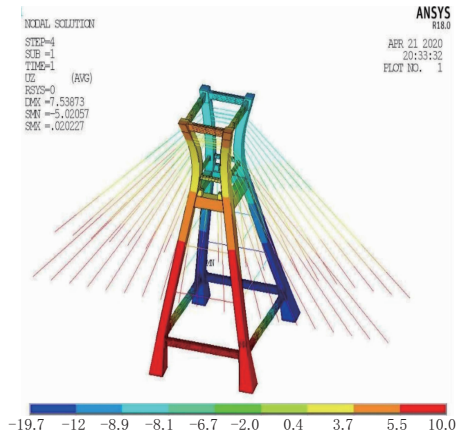


图7 主塔成桥阶段应力最大区间(-19.7~10 MPa)

3.4 计算结果分析

上塔柱与纵向拉杆位置处存在受拉区,原因是在施工过程模拟中施加临时支撑顶推力不够,同时上横梁与塔柱的连接部位有夹角,很容易产生应力集中^[8]。

针对中横梁主塔节点位置节段存在的拉应力区,根据计算结果可知张拉纵横梁预应力钢束是该节点拉应力区形成的主要原因,从受力机理上看有两个成因:一是施加纵横向预应力对塔柱节点造成双向受压,导致第三方向产生受拉效应;二是中横梁采用横向预应力钢束布置形状,为避免与纵向预应力钢束在塔柱节点段的位置冲突,中横梁横向预应力钢束在塔柱节点段设置了竖向弯曲曲线,直接导致了拉应力区域的产生。以上两个成因中,以第二个原因为主要影响因素^[9]。

桥塔为空间框架式结构,四根塔柱的倾斜角度较大。在整体升降温度荷载下,下塔柱段塔脚会出现拉应力区,故该拉应力区的主要成因为受温度效应的影响。

4 主塔优化改进

为确保塔柱在施工过程中不出现拉应力,保证结构的安全性,以主塔施工阶段的仿真分析结果为依据,对原设计进行改进^[8],具体改进措施如下所述。

4.1 上塔柱节点受拉区改进分析

为改善上塔柱与纵向拉杆位置处的拉应力,采用的处理措施有:

(1)新设计将上塔柱钢横撑由原截面 0.64 m × 0.88 m 增大至 0.84 m × 1.08 m;

(2)上横梁原截面由 1.5 m × 2.0 m 减小至 1.3 m ×

排人员观察盾构机姿态,发现啃轨趋势出现,应及时调整相反方向千斤顶油缸行程,及时回纠。同时主要以底部3组油缸推进,避免磕头,确保盾构机以平稳姿态过站。

(3)当管片脱出盾尾时,用钢楔块及时垫放在管片和基座导向方钢之间,落底块管片和基座之间也需及时用钢楔块垫实。每环管片两侧各放置3块,底部两侧各放置3块,每环共12块。

(4)管片拼装控制。每块管片拼装结束后,伸出其所对应千斤顶并加载到所需的推力,然后再进行下一块管片的拼装,如此逐块进行,直至完成每环拼装。同时,拼装后应及时调整千斤顶的顶力,防止盾构姿态发生突变。

(5)管片变形控制。推进期间对管片之间定点位置敷设水泥,作为推进期间管片变形观察点,当出现超预期变形时,及时降低推进速度,调整相关推进油缸推力,防止管片固定连接螺栓在推进过程中受力断裂。

3.5 盾构实际过井

盾构计划过站工期21 d,实际过站工期15 d,提前6 d完成过站任务,有效缩短了工期。本次过站过程中,盾构机共拼装临时管片25环,长度为50 m。过站推进过程中,盾构机未出现啃轨、磕头现象,盾构姿态控制良好。本文所述受限空间内大直径空推过井施工关键技术,确保施工圆满达成安全、快速过井的任务目标。

4 结 语

本文以北横Ⅷ标盾构工程空推过站实例,介绍了一种在受限空间内设置过渡基座,采取拼装临时管片进行大直径盾构机整体式推进,以达到快速空推过站目的的施工工艺。

北横通道过站盾构工作井周边空间受限,不利于大型起重设备部署及作业,亦不利于周边社会交通组织,若采用传统的分离式过站工艺,即盾构主机和后配套设施分离,则过站施工耗时长、成本高。

采用本文所述的改进型整体式过站施工工艺,可以有效地减少对地方交通影响、节省工期、节约成本,为以后大直径盾构过站、过井施工提供了新的方法和思路。

参考文献:

- [1] 郑岐,罗建晖,李思颖.上海北横通道盾构隧道匝道工作井长度研究[J].上海建设科技,2021(5):1-4.
- [2] 杨云飞.盾构机平移及空推过站施工技术的应用[J].建筑技术开发,2022,49(2):37-39.
- [3] 姚燕明,胡新朋,李发勇,等.狭窄空间内可拆解式盾构过站施工技术及应用——以宁波火车站为例[J].隧道建设(中英文),2020,40(7):1035-1040.
- [4] 徐鹏.西安地铁和平门站盾构机平移、空推过站技术[J].四川建材,2020,46(3):167-168,197.
- [5] 杨立伟.盾构轮式过站施工技术[J].建筑机械化,2019,40(12):62-64.
- [6] 刘小刚,刘卫东,刘志彪,等.盾构整机快速平移过站施工技术[J].施工技术,2021,50(1):113-117,121.

(上接第197页)

本研究为异形空间框架式独塔斜拉桥的主塔施工提供了有力的技术支持,对类似工程具有较高的参考价值。在今后的研究中,可进一步探讨其他类型的斜拉桥主塔施工技术,以满足不同工程的需求。

参考文献:

- [1] 牛伟迪.神农湖独塔斜拉桥设计分析[J].城市道桥与防洪,2021(6):79-84.
- [2] 张成毅,何茂维.双弧形桥塔斜拉桥静力与稳定性分析[J].城市道桥与防洪,2022(10):100-103.
- [3] 张春新,张晶,胡海波.武汉青山长江公路大桥北塔施工关键技术[J].桥梁建设,2019(2):1-6.
- [4] 查道宏,李军堂,胡勇.大跨度斜拉桥钢筋混凝土桥塔快速施工技术的发展与展望[J].世界桥梁,2022(4):32-40.
- [5] JTG/T 3365-01-202,公路斜拉桥设计规范[S].

- [6] 朱强,艾华,张美玲.某宽幅矮塔斜拉桥Y形桥塔施工方案优化[J].世界桥梁,2023(2):47-52.
- [7] 罗长维,翁方文.泉州湾跨海大桥主桥桥塔施工关键技术[J].世界桥梁,2022(5):40-47.
- [8] 游勇利,刘辉.支架现浇法塔梁同步施工独塔混凝土斜拉桥仿真分析[J].公路交通科技,2021(12):64-72.
- [9] 刘源,林吉明,董晓兵.秀山大桥桥塔施工关键技术[J].世界桥梁,2020(5):26-31.
- [10] 田雨金,周胜国,李亮.上坝夹江大桥钢箱梁施工方案比选及关键技术[J].公路交通科技,2022(12):115-124.
- [11] 刘岸清,时照东,徐汉斌,等.湍河大桥主桥设计与分析[J].公路,2020(2):130-134.
- [12] 李健刚,杨冰.斜拉桥异形钢索塔锚固区受力敏感性因素分析[J].桥梁建设,2023(3):64-70.
- [13] 袁航,肖翀,严晨曦.伶仃洋大桥桥塔中横梁施工关键控制技术[J].公路,2022(6):78-83.