

独塔混合梁斜拉桥施工过程中技术分析

董 梅

(佛山市交通投资集团有限公司, 广东 佛山 528200)

摘 要:独塔混合梁斜拉桥加劲梁由钢与混凝土两种材料组成,主跨采用钢结构,跨越能力优越,边跨采用混凝土结构,具有良好的锚固作用,其经济性和技术性优势明显。施工过程中控制是在确保斜拉桥施工安全的前提下,尽可能使桥梁建成后的结构内力、线形与设计期望相符。因此,对斜拉桥施工过程进行研究极为必要。以佛山市三水三桥为研究对象,采用大型有限元分析软件 Midas Civil 建立全桥计算仿真模型,根据实际施工阶段,对实施过程进行仿真分析,以确定桥梁结构在施工过程中是否满足规范要求。相关结论可为同类型桥梁施工过程控制提供一定参考。

关键词:独塔混合梁斜拉桥;施工过程;施工控制分析

中图分类号: U445

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)12-0167-04

1 概 述

斜拉桥施工过程控制是确保桥梁成桥线形和受力与合理成桥状态保持一致的关键。施工监控是连接设计与施工的重要技术环节。施工监控的主要内容是在桥梁施工过程中,控制桥梁的索力、线形、应力和温度等,以确保成桥时,桥梁的线形、结构内力与理论值的误差最小,满足设计和使用要求。在施工监控之前,必须要对结构进行仿真分析,严格按照施工工序,对施工过程进行详细的技术分析,如主塔、主梁在施工过程中的应力和变形,拉索的索力和无应力长度等。混合梁斜拉桥整个过程的控制方法是基于索力和索长的双重控制^[1]。

佛山市三水三桥主桥采用独塔双索面斜拉桥,主桥跨径组合为(52+56+72+338)m,全长 518 m。主跨主梁形式采用整体式钢箱梁方案,边跨主梁采用混凝土主梁。

桥型布置图如图 1 所示。

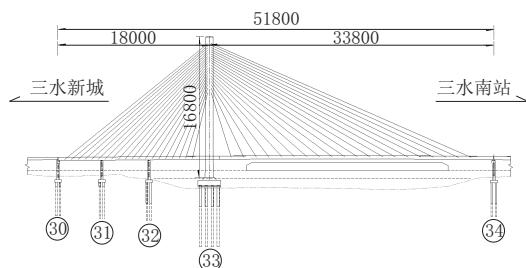


图 1 桥型布置图(单位:cm)

收稿日期: 2022-08-09

作者简介:董梅(1990—),女,本科,工程师,从事建筑管理工作。

主桥采用塔梁固结体系,辅助墩和过渡墩墩顶均设置纵向活动支座。本桥索塔采用花瓶型主塔,为普通钢筋混凝土结构。总高度(塔座顶至塔顶)为 168 m,桥面以上高 141 m。主塔塔身由下塔柱、下横梁、中塔柱、上横梁、上塔柱(含塔冠)等组成。主塔断面布置图如图 2 所示。

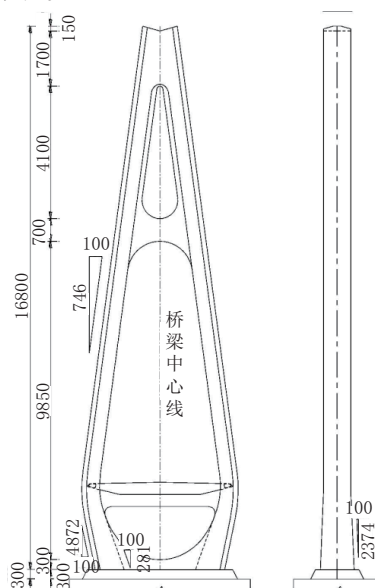


图 2 主塔横断面图(单位:cm)

2 计算模型

三水三桥主桥采用 Midas Civil 建立空间有限元模型,全桥共划分为 1 789 个单元,1 975 个节点。其中,斜拉索采用只受拉桁架单元模拟,主塔和主梁采用梁单元模拟^[2]。

主梁采用鱼骨梁的方式模拟,拉索锚固点与主梁

采用主从约束模拟,桥塔处主梁与下横梁固结,边跨混凝土主梁的浇筑支架采用仅受压节点弹性支撑模拟。计算模型如图 3 所示。



图 3 计算模型

3 主要施工工序

本桥索塔承台以上总高度为 168 m, 共分为 30 个节段, 标准节段混凝土浇筑高度为 6 m。下塔柱 1#~5# 节段采用搭设钢管支架作为施工平台兼作模板支撑、配合翻模法进行施工, 中塔柱前 2 节(6#、7# 节段) 翻模法施工, 其余节段采用液压爬模进行施工。

根据实际施工流程, 主塔施工工序划分情况见表 1。

表 1 主塔施工工序划分

施工阶段	施工内容
CS1	下塔柱施工区段(1#~5# 节段)
CS2	同步施工横梁与塔柱结合段
CS3	中塔柱施工节段(6#~18# 节段)
CS4	上塔柱施工段(19#~26# 节段)
CS5	合龙段施工区段(27#~30# 节段)

根据主梁架设方案, 全桥主梁节段架设可分为 3 种类型:

(1) 浮吊吊装。主梁钢混结合段利用浮吊吊装至塔旁支架处。

(2) 支架现浇。主梁混凝土节段 H1~H6 施工, 搭设满堂支架现浇。

(3) 驳船+桥面吊机。主梁主跨侧安装桥面吊机, 驳船运输钢主梁节段进行悬臂吊装施工。

4 中塔柱、上塔柱施工过程分析

由于索塔中塔柱、上塔柱向内倾斜, 因此索塔爬模施工会在塔柱根部产生拉应力。为确保拉应力不超限, 在中塔柱、上塔柱施工过程中需在两塔柱之间设置主动横撑^[3]。中塔柱共设置 4 道横撑, 上塔柱设置 1 道横撑。主动横撑的布置位置见表 2。

根据横撑的设置位置和施工过程, 对索塔进行受力分析, 根据计算分析结果, 得到中塔柱、上塔柱主要施工阶段的应力(见表 3)。

由表 3 可知, 中塔柱、上塔柱施工过程中, 塔柱

表 2 主动横撑布置参数

横撑编号	横撑中心高程 /m	所在节段	顶推力 /kN
G1	45.49	塔柱第 8 节	555
G2	65.79	塔柱第 12 节	635
G3	85.99	塔柱第 15 节	642
G4	92.33	塔柱第 16 节	661
G5	122.4	塔柱第 22 节	633

表 3 中塔柱、上塔柱主要施工阶段应力结果 单位: MPa

施工工序	最大压应力	最大拉应力
第 10 节	-1.85	0.91
第 1 道横撑	-1.38	0.29
第 13 节	-2.52	0.94
第 2 道横撑	-1.94	0.09
第 17 节	-2.51	0.99
第 3 道横撑	-2.30	0.06
第 20 节	-3.52	0.86
第 4 道横撑	-2.55	0.51
第 23 节	-3.53	0.98
第 5 道横撑	-3.51	0.74
主塔封顶	-13.10	1.70

根部拉应力均未超过 1 MPa, 满足《公路桥涵施工技术规范》要求。中塔柱、上塔柱最大拉应力发生拆除横撑后, 位于上横梁与塔柱交接处, 拉应力为 1.1 MPa。此处存在弧形实心加厚段, 因此实际拉应力应小于 1.7 MPa。塔柱其余地方混凝土拉应力均较小, 因此横撑设置位置和顶推力大小(详见表 2)基本合理。

塔柱施工过程中, 主动横撑的轴力分析结果见表 4。

表 4 主动横撑轴力分析结果 单位: kN

横撑编号	最大轴力
横撑 1	-1 939.9
横撑 2	-2 276.6
横撑 3	-1 956.5
横撑 4	-1 331.9
横撑 5	-2 117.0

横撑的工作环境温度对塔柱应力影响较为显著。由于索塔施工周期较长(计划工期 385 d), 气温变化较大, 因此需分析索塔施工过程中, 横撑温度变化对塔柱的影响。主要分析每一道横撑安装后、上横梁施工后及索塔成塔后, 横撑温度变化对塔柱应力的影响。横撑安装顶推力采用年平均气温 21.6℃ 计算得到, 考虑桥位处最高气温及最低气温, 分析横撑升温 15℃ 及降温 15℃ 对塔柱的影响(即横撑与塔柱温差 ±15℃)。横撑与塔柱温差下的主塔应力分析见表 5。

表 5 横撑与塔柱温差下的主塔应力分析结果 单位:MPa

横撑编号	升温应力	降温应力
横撑 1	-0.8	-2.0
横撑 2	-1.5	-2.3
横撑 3	-2.3	-2.8
横撑 4	-2.6	-3.0
上横梁	-3.8	-3.9
横撑 5	-3.8	-3.9
索塔封顶	-4.8	-4.9

主动横撑的拆除顺序对受力影响较大,若在第 4 道横撑安装完成后即拆除第 1~3 道横撑,则上横梁与塔柱交界处存在较大拉应力。因此,对横撑拆除顺序进行调整:第 1~4 道横撑均在主塔成塔后拆除。横撑拆除前,各横撑内力见表 6。

表 6 横撑拆除前轴向力 单位:kN

横撑编号	最大轴力
横撑 1	-685
横撑 2	-474
横撑 3	-1 030
横撑 4	-1 216
横撑 5	-2 117

考虑以下 6 种横撑拆除顺序(见表 7)。

表 7 横撑拆除顺序

拆除工况	拆除顺序
工况 1	G1→G4→G2→G3→G5
工况 2	G1→G4→G3→G2→G5
工况 3	G4→G1→G2→G3→G5
工况 4	G4→G1→G3→G2→G5
工况 5	G5→G1→G4→G2→G3
工况 6	G5→G1→G4→G3→G2

在考虑横撑 6 种拆除工况下,各横撑拆除时的内力计算结果见表 8。

表 8 各工况下横撑拆除力 单位:kN

工况	G1	G2	G3	G4	G5
工况一	685	822	1 906	1 247	1 756
工况二	685	1 343	1 464	1 247	1 756
工况三	705	822	1 906	1 216	1 756
工况四	705	1 343	1 464	1 216	1 756
工况五	684	785	1 793	1 163	2 117
工况六	684	1 276	1 368	1 163	2 117

由表 8 可知,工况二的最大横撑拆除力较小、所有横撑拆除力较均匀,且最长横撑(G1)拆除力最小。因此,建议采用工况二的拆除顺序。

5 塔柱横向预偏量计算分析

考虑 10 a 收缩徐变,计算中塔柱最大横向预偏

量为 16.81 mm,位于 +120.79 m 高度(上塔柱第 21 节顶面),全塔高度横向预偏量计算结果如图 4 所示(图中正值表示向外预偏)。

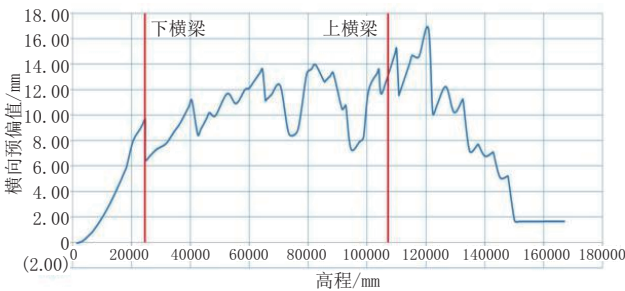


图 4 塔柱施工横向预偏量

考虑 10 a 收缩徐变,计算上塔柱最大竖向预抬量为 64.98 mm,最小预抬量为 14.19 mm,平均预抬量为 45.79 mm,全塔高度竖向预抬量计算结果如图 5 所示。

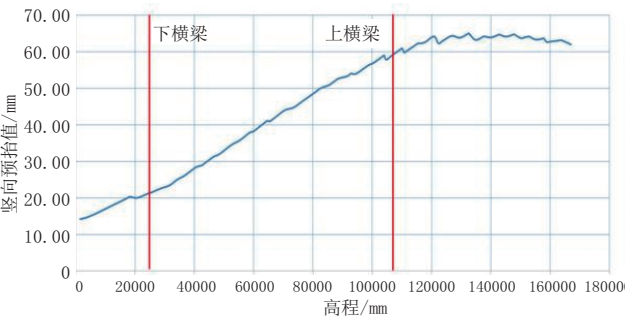


图 5 塔柱施工竖向预抬量

6 主梁最大悬臂工况分析

悬臂拼装完 M21 梁段后,主梁达到最大悬臂状态。根据施工方案,需要利用桥面吊机吊装 M23 梁段至支架上。对此阶段进行以下工况分析:

(1)工况一:恒载 + 主梁桥面吊机最大竖向力 + 横桥向风荷载。

(2)工况二:恒载 + 主梁桥面吊机最大竖向力 + 顺桥向风荷载。

(3)工况三:恒载 + 主梁桥面吊机最大竖向力 + 不对称横桥向风荷载桥面吊机。

竖向力考虑 1.2 倍动力系数;不对称横桥向风荷载按边跨主梁 $0.5F_g$ 、主跨主梁 $1.0F_g$ 计算。最大悬臂状态各工况计算结果见表 9。

表 9 最大悬臂状态各工况应力计算结果

工况	索塔		钢梁		混凝土梁	
	最大	最小	最大	最小	最大	最小
1	0.2	-14.4	21.9	-49.1	0.1	-8.7
2	0	-12.6	21.5	-65.8	0.1	-8.6
3	0.2	-14.3	21.9	-49.1	0.1	-8.7

7 斜拉索张拉控制分析

由于斜拉索水平分力作用,成桥阶段,主梁会产生弹性压缩及混凝土收缩,导致轴向长度变短。同时,由于主梁纵坡(包括制造预拱度)的影响,沿主梁竖曲线方向长度也需要进行修正。

经计算,混凝土主梁(H1 梁段前端)弹性压缩及收缩量为 120.8 mm,纵坡修正量为 15.1 mm,合计 107.6 mm。钢箱梁(M21 梁段前端)弹性压缩量为 68.8 mm,纵坡修正量为 7.7 mm,合计 76.5 mm。计算结果如图 6、图 7 所示。

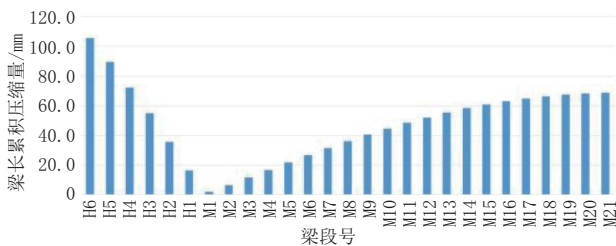


图 6 主梁节段弹性压缩量计算结果



图 7 主梁梁长纵坡修正量计算结果

8 结 语

通过对施工过程的仿真计算分析,得出以下结论。

(1)通过对施工阶段的详细模拟,对不同施工阶段的主塔受力进行精细化控制,确保了施工过程中结构受力满足规范要求。

(2)索塔中塔柱、上塔柱向内倾斜,索塔爬模施工会在塔柱根部产生拉应力。为保证拉应力不超限,在中塔柱、上塔柱施工过程中,需在两塔柱之间设置主动横撑。主动横撑的设置位置对受力影响较大,根据计算分析提出了合理的设置位置。

(3)主动横撑的拆除顺序对受力影响较大,通过对横撑的不同拆除顺序进行分析,总结出了最合理的拆除工况。

(4)考虑 10 a 收缩徐变,对塔柱最大横向预偏量进行精确分析,以指导施工准确放样。

(5)对最大悬臂状态下各种工况进行详细分析,施工过程中受力满足规范要求。

(6)成桥阶段,主梁会产生弹性压缩及混凝土收缩,导致轴向长度变短。通过计算分析,指导施工过程中的梁长进行精确控制。

参考文献:

- [1] 施洲,胡豪,周文,等.大跨度混合梁斜拉桥施工控制关键技术[J].桥梁建设,2018,48(3):111-115.
- [2] 渠广镇.独塔混合梁斜拉桥施工控制仿真分析[J].山西建筑,2017,43(20):168-169.
- [3] 秦顺全.无应力状态控制法——斜拉桥安装计算的应用[J].桥梁建设,2008(2):13-16.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com