

泸沽湖特大桥桥塔横撑顶撑施工控制

文 / 李文权 四川西香高速建设开发有限公司

柏国胜 四川公路桥梁建设集团有限公司

摘要:以泸沽湖特大桥为背景,桥塔采用“A”型钢管钢箱-混凝土组合塔。“A”型桥塔横向内倾角较大,在桥塔自重和塔顶压力作用下,塔肢横桥向偏位和内外侧应力差较大。通过Midas civil软件建立空间有限元模型对桥塔施工过程进行模拟,通过设置横撑顶推的方式对塔肢内力线形进行控制。优化横撑顶推顺序,计算结果表明:设置“被动”横撑与“主动”横撑相结合的方法可以有效控制桥塔横向偏位和塔肢根部应力差,且横撑结构更加安全。

关键词:悬索桥;“A”型桥塔;施工控制;横撑

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.18.053

引言

桥塔是大跨度桥梁的重要受力构件。对于高度大,塔柱倾斜的桥塔来说,在施工过程中裸塔处于倾斜悬臂状态,随着施工高度的增加,塔肢在自重、爬模及风等荷载作用下产生变形,对塔柱根部的受力产生不利影响^[1-2]。“A”型塔的塔柱倾斜度相较而言更大,所导致的塔肢横向偏位且塔柱根部不利影响更加显著。为解决这一问题,最好的方法就是设置横撑。横撑设置的目的的是对塔柱的变形和应力进行双控在便于施工的前提下达到工程标准的成塔状态^[3]。

一、工程概况

泸沽湖特大桥是主跨跨径1680米的双塔单跨钢桁式悬索桥,主缆跨径组合为(265+1680+315)m,是世界最大跨径空间缆悬索桥。桥塔为双肢“A”型钢管钢箱-混凝土组合结构,由东西两岸两座桥塔组成。西昌侧桥塔高228m,香格里拉侧桥塔高283m。桥塔主要包括预埋段、塔柱、下横梁、上横梁、塔冠等构件。以西昌岸为例,塔柱采用单箱单室断面,桥塔横向尺寸由塔底6.5米渐变至塔顶4.2米,索塔纵向尺寸由塔底8.75米渐变至6.5米,渐变范围为承台以上55米区域。桥塔节段由位于截面四个角点的钢管(内灌C80混凝土)及其间的薄壁钢箱(内灌C60混凝土)组成,钢管直径1.8m,壁厚38mm,钢箱间距1.0m,外壁板厚度14mm,内壁板厚度10mm,内外壁板通过L75×8角钢进行连接。

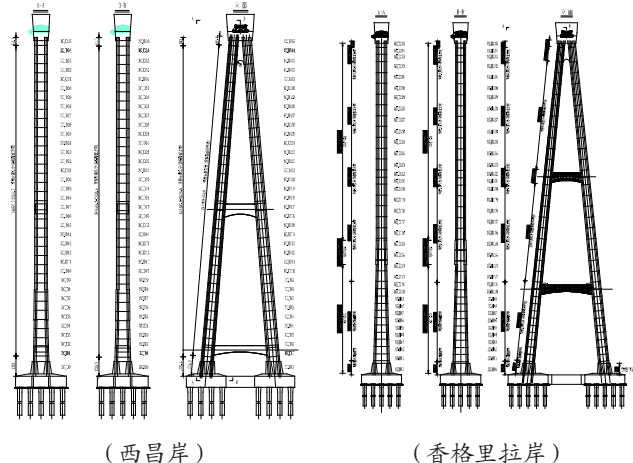


图1 两岸桥塔节段划分图

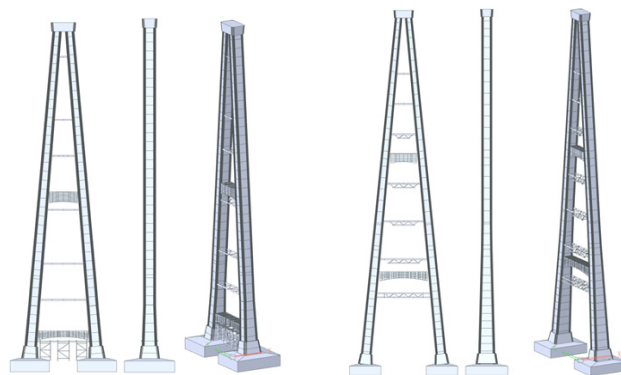
二、桥塔横撑计算模型

(一) 施工方案

塔柱采用液压爬架及塔吊吊装施工,两岸塔肢分为T0~T35共36节。标准塔肢节段按节段吊装→环缝焊接→爬架爬升→腔室混凝土浇筑→混凝土养生等步骤进行施工。西昌岸桥塔设置6根主动横撑,香格里拉岸桥塔设置7根主动横撑,用于控制桥塔的内力与线形。

(二) 有限元模型

采用有限元软件Midas civil建立桥塔模型,计算模型的建立根据实际结构构件尺寸进行结构离散。桥塔塔柱、横梁及临时结构采用梁单元模拟,边界约束条件为桥塔塔底承台固结,横梁单元与塔柱单元之间采用刚性连接,计算模型如下图所示。桥塔施工阶段的荷载包括自重、施工临时荷载和横撑顶撑力,考虑了温度、塔吊以及风荷载的影响,桥塔节段钢壳按切向方向安装。每个塔肢标准节段分为安装、湿重、爬模上移三个工况,西昌岸桥塔计算工况共划分120个工况,香格里拉岸桥塔分为123个工况。



(西昌岸) (香格里拉岸)

图2 两岸桥塔有限元模型

三、横撑顶撑方案比对

在桥塔与横撑形成的时变体系中,结构体系本身和施工荷载都在不断变化,不同的施工路径也改变着体系的边界和约束条件,导致结构的内力和变形不断地重新分布^[4]。为了消除塔肢内外应力差,并达到控制塔柱线型和内力的目标,香格里拉岸设置7道横撑,其中下塔柱下横梁下方设置横撑1,中塔柱中横梁下方设置横撑2~4,

上塔柱设置横撑 5~7；西昌岸设置 6 道横撑，其中中塔柱中横梁下方设置横撑 1~3，上塔柱设置横撑 4~6。结合施工方案和计算分析优化比对，拟出以下 3 种横撑顶推方案，以香格里拉岸桥塔计算结果为例进行说明。

(一) 顶推方案 1

施工方案中在相应横撑安装完成后即开始顶推：分别在吊装塔肢 T11、T14、T17、T20、T25、T28、T30 之后，浇筑混凝土之前安装对应横撑，随后进行主动顶撑。该方案下塔肢底部应力差及横桥向塔偏结果如下，塔肢根部钢壳内外应力差控制在 0.8MPa，外侧混凝土于顶推后无拉应力。计算结果表明横撑的安装和主动顶撑可显著减小塔肢根部钢壳与混凝土内外侧应力差，同时保证塔肢线形达到目标要求。

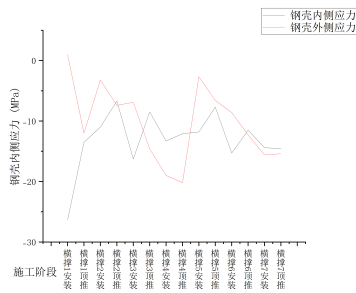


图 3 桥塔钢壳内外应力 (MPa)

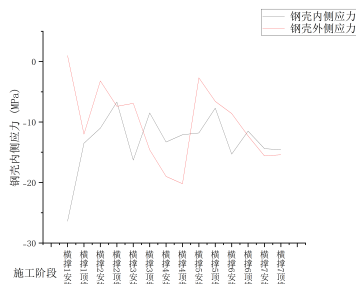


图 4 桥塔混凝土内外应力 (MPa)

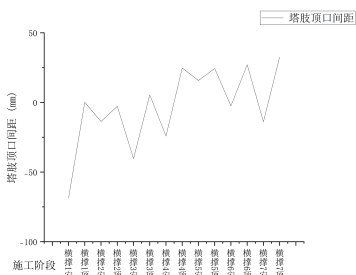


图 5 横桥向塔肢顶口间距 (mm)

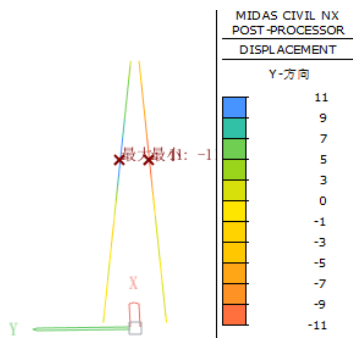


图 6 成桥塔肢横向位移 (mm)

(二) 顶推方案 2

原施工方案中在相应横撑安装完成后即开始顶推，经计算发现，该项推方案于桥塔高度随施工进度推移增加后会致使横撑内力过大，易出现安全隐患。现将方案 1 中横撑 2、3、5、6 取消，仅对第 1、4、7 号横撑进行顶推，该方案因横撑高度相对塔柱变高，为达到目标所需横撑内力对应减小，同时顶撑横撑下方无其他横撑，不会存在因后续节段施工导致横撑内力过大的情况。该方案下塔肢底部应力差及横桥向塔偏结果如下，塔肢根部钢壳内外应力差控制在 3.9MPa，外侧混凝土于顶推后无拉应力，但顶推前最大 2.1MPa 拉应力易导致混凝土开裂。

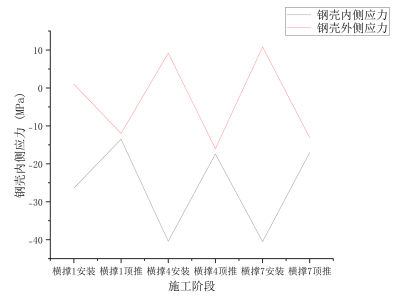


图 7 桥塔钢壳内外应力 (MPa)

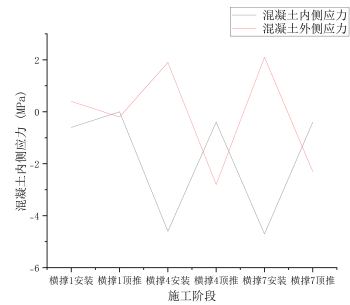


图 8 桥塔混凝土内外应力 (MPa)

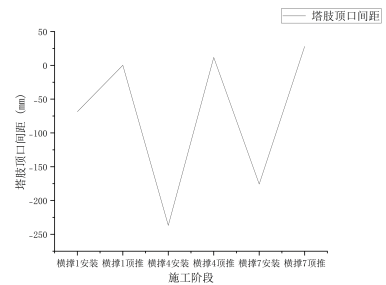


图 9 横桥向塔肢顶口间距 (mm)

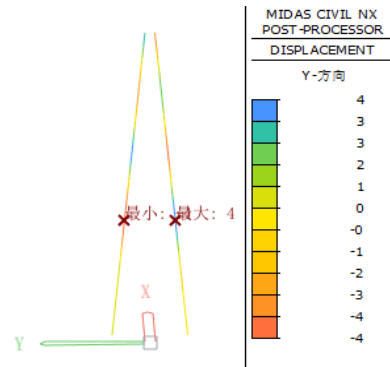


图 10 成桥塔肢横向位移 (mm)

(三) 顶推方案 3

顶推方案 2 的计算结果表明在顶推第 4、7 号横撑之前会因桥塔自重影响而导致塔肢横向偏位较大，同时外侧混凝土出现过大的拉应力，具有开裂风险。为了控制塔肢横向偏位的同时保证结构的安全，优化顶推时机后得出第三种顶推方案。首先在 1 号横撑顶推之后，先将 2、3 号横撑安装后作为“被动”横撑使用。在 4 号横撑安装之后对 2、3、4 号横撑再进行交替顶推，5、6、7 号横撑同理。该方案下塔肢底部应力差及横桥向塔偏结果如下，在保证了塔肢根部应力差较小和混凝土外侧一定压应力储备的同时，结构线形也达到目标要求。

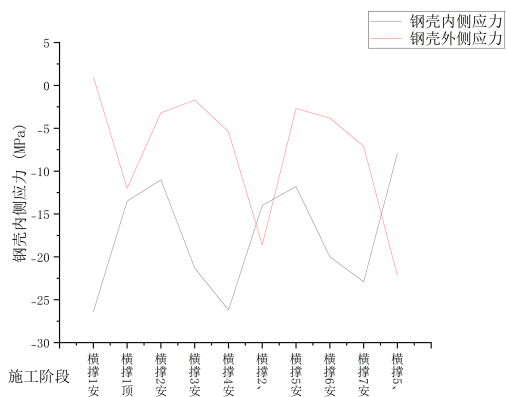


图 11 桥塔混凝土内外应力 (MPa)

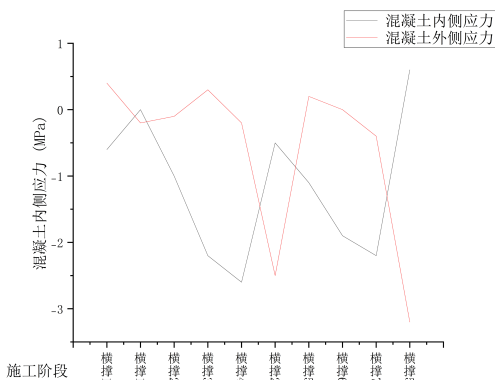


图 12 桥塔钢壳内外应力 (MPa)

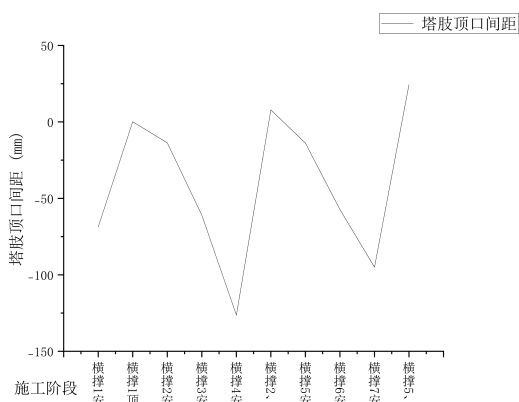


图 13 横桥向塔肢顶口间距 (mm)

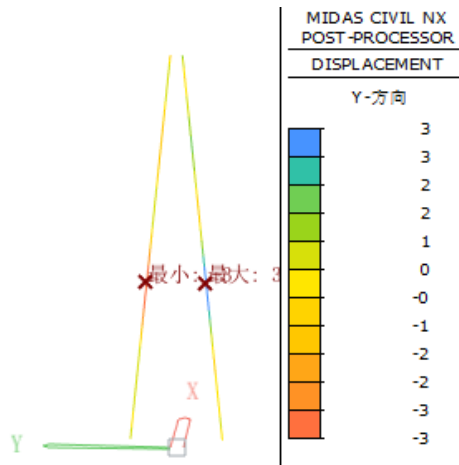


图 14 成桥塔肢横向位移 (mm)

三种方案各横撑于施工过程中最大横撑力汇总如下图所示。

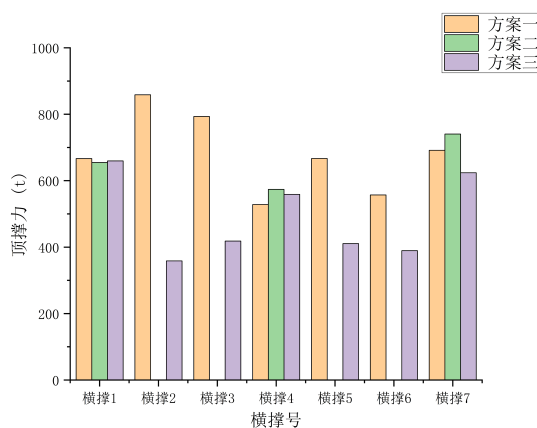


图 15 三种顶撑方案于施工过程中各横撑最大内力 (t)

可以通过上图看到，在线形及内力控制达到目标要求的前提下，顶推方案 3 各横撑于施工过程中横撑 2、3 和横撑 5、6 最大内力显著减小，结构安全储备最优。因此拟采用顶推方案 3 来对桥塔线形及内力进行控制。

结语

泸沽湖特大桥桥塔作为“A”型桥塔，在桥塔自重和塔顶压力作用下，塔柱内力与线形不利影响显著。通过设置横撑的方式解决桥塔横向偏位以及塔肢根部应力问题。在保证线形及内力控制达到目标要求的前提下，优化横撑顶撑方案，以“被动”横撑与“主动”横撑相结合的方式，即保证了控制要求，更能确保临时结构的施工安全。

参考文献

[1] 向学健, 孙宪魁, 杨昀, 等. 果子沟大桥桥塔施工过程的模拟分析 [J]. 桥梁建设, 2010(2): 69-72.
 [2] 严琨, 朱福春, 唐茂林. 大跨度悬索桥桥塔施工过程的模拟分析 [C] 全国桥梁学术会. 议. 2012: 575-580.
 [3] 杜民清. 某斜拉桥双向倾斜桥塔主动横撑设计及施工控制 [J]. 河南科技. 2014: 20-0141-02.
 [4] 吴凌峰. 新田长江大桥桥塔施工控制关键技术研究 [J]. 四川建筑. 2020. 06: 40-3.