

新型装配式塔架结构设计及受力行为分析

王 彬

(广西路桥工程集团有限公司, 广西 南宁 530200)

摘 要 为克服传统塔架结构刚度低、拱桥跨径适应性不足等问题,本研究依托某主跨 528m 的中承式钢管混凝土拱桥,研发设计了新型装配式重型塔架。结合桥址区风载、拱肋扣载以及缆索系统对塔架结构的吊载,利用有限元程序 Midas/civil 分析了塔架结构在工作和非工作状态下结构力学行为,研究结果表明塔架强度、刚度及稳定性满足规范要求,结构设计合理且可靠,可供类似结构设计及桥梁施工借鉴和参考。

关键词 装配式塔架; 拱桥; 有限元; 结构设计; 力学行为

中图分类号: U44

文献标识码: A

文章编号: 2097-3365(2024)04-0010-03

钢管混凝土拱桥常采用缆索吊装斜拉扣挂法施工,塔架作为缆索系统中重要的组成部分之一,其结构安全与否直接关系着大桥方案的选取以及实际造价。传统的塔架多由万能杆件或者型钢搭设,具有成本低、方便快捷、杆件通用性强、周转高等优点^[1],但该类塔架结构整体刚度较弱,仅适用于跨径较小的桥梁,无法进一步满足拱桥跨径日益发展的需求^[2-3]。本文依托某主跨 528m 的钢管混凝土拱桥,基于建筑业装配式结构理念,研发了新型装配式重型塔架,其相关结构设计及受力分析可供同类型桥梁施工借鉴和参考。

1 工程概况

某特大桥主桥设计为主跨 528m 的中承式钢管混凝土拱桥,拱轴线采用高次抛物线,计算跨径 508m,矢高 123.25m,矢跨比为 1/4.1217。拱肋为钢管混凝土桁架结构,共两片拱肋。单片拱肋采用变高度四管桁式截面,拱顶截面径向高 7.9m,拱脚截面径向高 15.7m,肋宽 4.1m。每片肋上弦、下弦均为两根 $\Phi 1300\text{mm}$ 钢管混凝土弦管,壁厚分 22mm、26mm、30mm 三种规格,管内混凝土采用 C60 自密实补偿收缩混凝土。该桥为目前世界第三大跨径钢管混凝土拱桥。

2 塔架结构设计

塔架作为缆索系统中的关键性结构,其强健性直接关系到施工过程中的安全。为此,我们研发了装配式重型钢管桁式塔架,钢材材质为 Q345B,塔架纵向以 4m 为模数设计,横桥向以 4.9m 为模数设计,每节标准段长 8m。塔架立柱采用 $\Phi 610$ 钢管,腹杆采用 ($\Phi 114\sim\Phi 245$) 钢管,立杆与立杆间采用法兰连接,立杆与腹杆间采用节点板连接。以一岸塔架结构为例,其具体结构构造如图 1 所示。

3 有限元模型的建立

3.1 几何模型

以最高塔架为例,利用有限元程序 MIDAS/civil 2019 建立大桥塔架分析模型,模型考虑几何非线性对缆风刚度的影响,除缆风索采用索单元模拟外,其余均采用空间梁单元模拟,缆风与地锚连接处及塔底均固结处理。塔架结构离散节点数共计 2817 个,单元数共计 6440 个。

3.2 计算工况

塔架在工作中会承受到各种荷载的作用,对于塔架正常工作状态的计算,考虑结构自重+主索力(吊重)+扣挂荷载+正常工作状态风荷载+缆风力,而对于塔架非正常工作状态的计算,考虑结构自重+主索力(空载)+扣挂荷载+非正常工作状态风荷载+缆风力。塔架结构可能出现的不利荷载工况组合如表 1 所示。

4 计算结果分析

4.1 塔架应力分析

为确保塔架在使用过程中具有足够的强度,有必要进一步了解塔架应力分布情况,在不同荷载工况下,塔架应力计算结果如图 2 所示。

由图 2 可得,塔架最大拉应力为 94.4MPa,出现在 CB4 工况;最大压应力为 -174.3MPa,出现在 CB7 工况,均满足钢材容许应力不超过 210MPa 的要求,且具有较大的富余量,塔架结构强度可靠。

4.2 塔架位移分析

对于缆索吊装施工而言,塔架位移过大可能会导致施工精度下降、安全性降低以及结构稳定性受损等。且《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650-2020)对施工过程中塔架位移有着明确规定,不超过 $H/400$,有

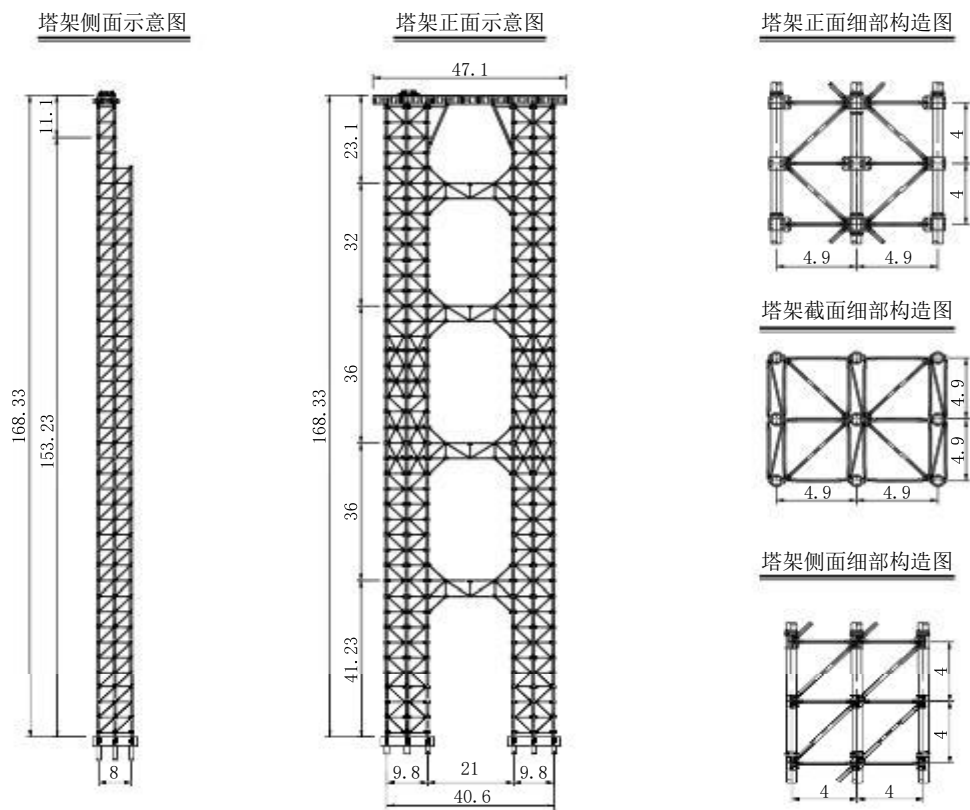


图 1 塔架具体结构设计示意图

表 1 塔架计算荷载工况

工况	荷载组合
CB1	塔架自重 + 2# 段吊载 (最重段) + 扣挂荷载 + 缆风初拉力
CB2	塔架自重 + 2# 段吊载 (最重段) + 桥址最大纵向风载 (6 级) + 扣挂荷载 + 缆风初拉力
CB3	塔架自重 + 2# 段吊载 (最重段) + 桥址最大横向风载 (6 级) + 扣挂荷载 + 缆风初拉力
CB4	塔架自重 + 9# 段吊载 + 扣挂荷载 + 缆风初拉力 + 平衡索初拉力
CB5	塔架自重 + 9# 段吊载 + 桥址最大纵向风载 (6 级) + 扣挂荷载 + 缆风初拉力 + 平衡索初拉力
CB6	塔架自重 + 9# 段吊载 + 桥址最大横向风载 (6 级) + 扣挂荷载 + 缆风初拉力 + 平衡索初拉力
CB7	塔架自重 + 空载 + 桥址极大纵向风载 (12 级) + 扣挂荷载 + 缆风初拉力 + 平衡索初拉力
CB8	塔架自重 + 空载 + 桥址极大横向风载 (12 级) + 扣挂荷载 + 缆风初拉力 + 平衡索初拉力

必要对各工况下塔架位移进行计算分析, 计算结果如表 2 所示。

由表 2 可得, 塔顶最大位移出现在 CB5 工况, 为 335.1mm, 满足塔偏不大于 $168.33/400=420.8\text{mm}$ 的要求, 塔架刚度满足施工要求。

4.3 塔架稳定性分析

拱肋缆索吊装过程中, 常涉及塔顶索鞍横移以及扣索荷载对塔架的偏载^[4-5], 为此, 有必要对缆索吊装过程中塔架的稳定性进行分析。运用 MIDAS/civil 对

塔架在各个荷载组合工况下的稳定性进行验算, 结果只提取一阶弹性稳定系数, 如表 3 所示。

由表 3 可得, 在正常和非正常工作状态下, 塔架最小临界荷载系数为 16.5, 满足《公路桥涵施工技术规范》(JTG-T 3650-2020) 弹性稳定系数最小值 4.0, 塔架整体稳定性良好。

5 结语

本文以某世界第三大跨径钢管混凝土拱桥为工程依托, 对缆索系统装配式重型塔架结构设计进行了详

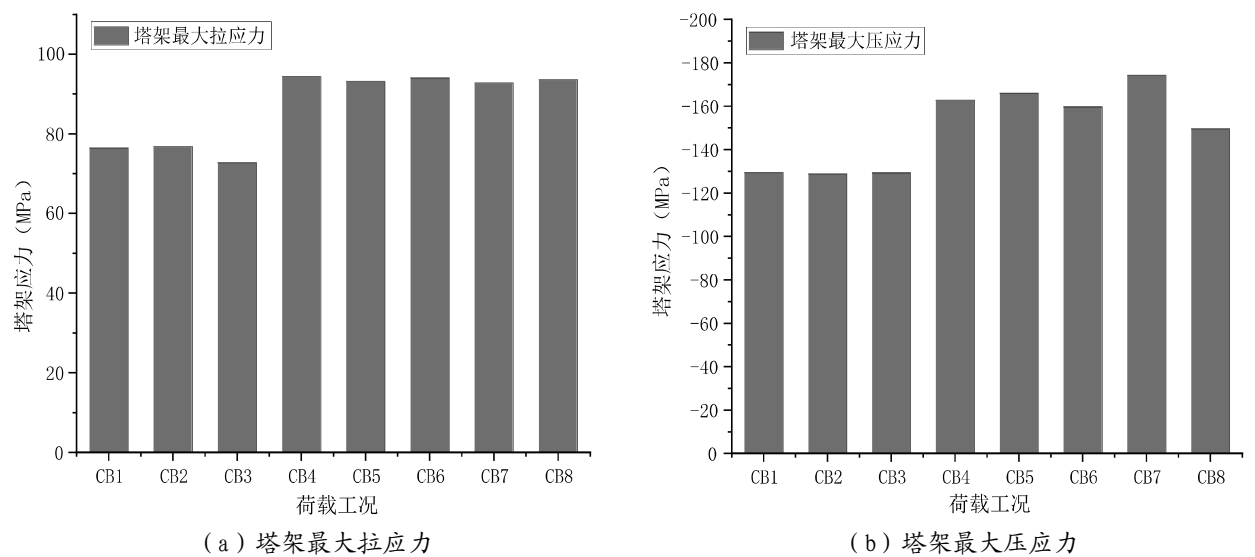


图 2 塔架应力计算结果

表 2 塔架位移计算结果

方向	DX（横桥向）位移	DY（纵桥向）位移	DZ（竖向）位移	DXYZ
最大值（mm）	最大绝对值	最大绝对值	最大绝对值	最大绝对值
CB1	134.6	136.8	42.8	193.6
CB2	134.8	145.4	42.7	199.9
CB3	127.1	136.4	42.8	188.3
CB4	131.2	274.8	61.3	299.9
CB5	131.6	284.7	61.6	309.0
CB6	123.7	274.9	61.0	297.4
CB7	98.2	321.5	59.5	335.1
CB8	53.4	268.0	56.0	275.1
	容许位移（H/400）			420.8
	是否满足			是

表 3 塔架稳定性计算结果

工况	CB1	CB2	CB3	CB4	CB5	CB6	CB7	CB8
稳定系数	16.7	16.6	16.8	16.6	16.5	16.9	19.6	19.9

细介绍，并利用有限元程序 MIDAS/civil 对塔架工作状态和非工作状态下结构的强度、刚度及稳定性进行了验算，计算结果表明该结构设计合理，安全可靠，可为同类型结构设计提供借鉴和参考。

参考文献：

[1] 李胜,王锋. 万能杆件缆索吊装系统拆除施工技术[J]. 西部交通科技,2016(07): 93-95.

[2] 姚博强,李贝,吕雪源,等. 基于 BIM 技术的装配式混凝土风电塔架深化设计[J]. 施工技术,2019,48(10):5-7.

[3] 青志刚,罗小斌. 缆吊系统主扣合一塔架结构分析与优化[J]. 广西大学学报(自然科学版),2015,40(04):1006-1011.

[4] 熊邵辉,郭鑫,游佐巧. 大跨度缆索吊装拱桥拱肋安装线形计算[J]. 中外公路,2023,43(03):109-113.

[5] 黎继国,秦大燕,唐睿楷,等. 金钗红水河特大桥拱肋安装施工控制分析[J]. 西部交通科技,2022(07):97-100, 108.