

V型桥塔竖转转轴设计与受力性能研究

白路轶, 顾小岗, 张波

(宏润建设集团股份有限公司, 上海市 200235)

摘要:以宁波中兴大桥为背景,针对矮塔斜拉桥V型桥塔竖转施工转轴受力性能展开研究。转轴在桥塔转动过程中,受集中荷载效应较大,易产生破坏,威胁桥梁建造安全,V型桥塔对拉不同步转动受力性能更为复杂。建立桥塔竖转整体计算模型,分析集中荷载效应最不利施工状态;根据最不利施工状态建立竖转转轴局部分析模型,分析其局部受力性能。结果表明,V型桥塔在竖转施工过程中,转轴的强度和刚度均能满足安全要求。

关键词:矮塔斜拉桥;V型桥塔;竖转转轴;转体施工;受力性能

中图分类号:U442.5

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2024)05-0101-04

0 引言

V型桥塔结构造型新颖,相比于传统直立桥塔,能够大幅降低索长以及塔根弯矩,是一类具有竞争力的矮塔斜拉桥桥塔结构形式。随着城市建设的发展以及人们审美诉求的不断提高,桥梁在满足交通功能之外,还需要满足对城市景观的提升。V型桥塔结构轻盈,在桥塔V字口的上方有着大片的视觉空间,给人一种疏密有致的韵律感,符合斜拉桥的美学特点,是一类独特而又美观的斜拉桥索塔。

国内学者对V型桥塔的整体及局部力学特性开展了较多研究。张杨永等^[1]通过对比V型桥塔斜拉桥和常规直塔斜拉桥的有限元分析模型,研究了V型桥塔斜拉桥的经济和力学特性;王大千^[2]依托V型双拱塔斜拉桥工程实例,进行了V型桥塔整体静动力受力分析与局部关键部位应力分析;高伟等^[3]通过进行V型塔双索面斜拉桥荷载试验,对桥梁的承载能力进行检验,并对桥梁的工作状态进行了评估。

对于斜拉桥主塔竖转施工工艺,国内同样已有多位学者进行了研究总结。谢曙辉^[4]研究了斜拉桥主塔竖转施工过程中的最不利受力状态,康俊涛等^[5]对钢主塔竖转监测技术进行了研究,司永明等^[6]研究了组合结构主塔在竖转过程中的受力特征。

综上,国内学者在斜拉桥竖转施工方面已经做

了较多研究,而对V型桥塔的研究大多集中在设计阶段,聚焦成桥后整体力学特性研究以及参数优化分析方面。在V型桥塔竖转施工技术方面,关于竖转转轴的设计形式和受力性能的研究依然较少。

1 背景工程

1.1 桥梁概况

中兴大桥全长700m,跨径布置为150m+400m+150m,宽29m。主梁采用混合梁,边跨及中跨468m范围区段采用钢箱梁,其他区段采用叠合梁。主塔采用钢结构V型塔,竖向倾角25°。塔顶设中间横梁以平衡中跨及边跨索力的水平分力。主塔桥面以上塔高约37m,全桥共设置36对斜拉索。桥梁结构形式见图1。

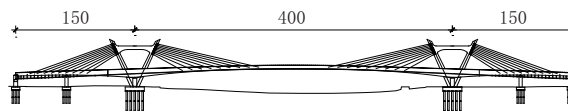


图1 桥跨布置图(单位:m)

1.2 施工工艺流程

本节介绍中兴大桥V型桥塔的主要施工工序。

(1)采用浮吊将V型桥塔左右两侧塔柱分节段吊装至桥面,并在桥面完成拼装。拼装完成后,开始安装竖转所需要的临时撑杆、油缸、钢绞线及背索等装置,准备进行桥塔竖转。

(2)在两侧塔顶横梁端头各安装6台对拉油缸,随后以靠中跨侧主塔立柱为配重,通过计算机控制6台对拉油缸同步提升,将靠边跨侧塔柱竖转就位,完成靠边跨侧塔柱与塔梁结合段的焊接,随后张紧边跨侧

收稿日期:2023-08-16

作者简介:白路轶(1979—),男,硕士,高级工程师,从事市政工程施工及研究工作。

塔柱背索。

(3)采取与边跨侧塔柱相同的施工方式,完成中跨侧塔柱的竖转就位。

(4)将V型桥塔的横梁合拢段提升就位,随后完成横梁合拢段环口焊接。

1.3 转轴设计

V型桥塔的竖转转轴由上转动铰与下转动铰两个构件拼合而成,是连接主塔塔座以及主塔竖转段的关键施工构件。转轴材料选用40Cr圆截面管材(40Cr:抗剪282 MPa,抗拉490 MPa)。其中,上转动铰安装在塔柱竖转段的根部位置,下转动铰安装在主塔塔座上。桥塔竖转施工前,需要先将上下转动铰拼合就位;桥塔竖转施工时,通过6台对拉油缸同步提升,拖动一侧桥塔转体段,整体绕竖转转轴旋转,并到达指定位置。转动铰主要采用36 mm钢板进行制作。上、下转动铰的立面及平面布置见图2、图3。

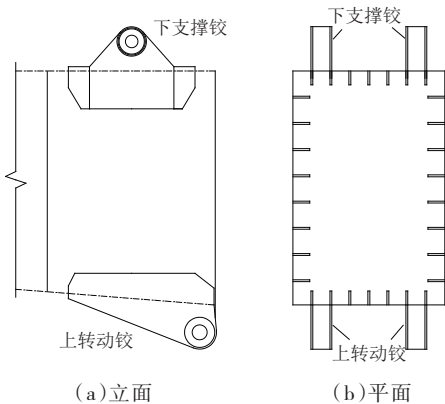


图2 上转动铰立面、平面布置图

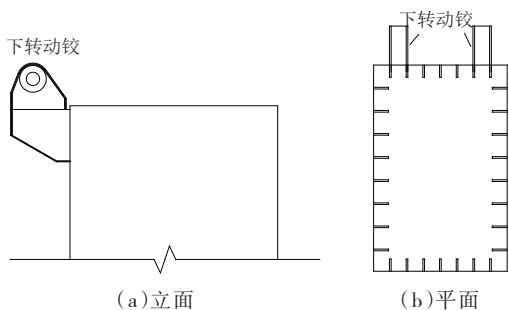


图3 下转动铰立面、平面布置图

1.4 受力关键状态分析

V型桥塔竖转转轴是主塔竖转施工过程中的关键受力构件。施工过程中的竖转角是不断发生变化的,这使得竖转转轴集中荷载效应的大小和方向不断变化。竖转过程中荷载效应最不利的施工状态为主塔施工控制中的受力关键状态。为了确定竖转过程中的受力关键状态,需要建立主塔竖转整体计算模型;竖转转轴的力学特性分析,需要根据受力关键状态的集中荷载效应,建立局部模型,分析竖转转轴

位置处的局部受力特性。

V型桥塔竖转转轴受力性能分析,主要围绕以下两个方面内容展开。

(1)建立主塔竖转整体计算模型,分析最不利的施工状态。

(2)建立竖转转轴局部分析模型,根据最不利的施工状态,确定集中荷载效应和边界条件,分析竖转转轴的受力性能。

2 基于总体模型的铰座受力状态分析

2.1 主塔竖转整体分析模型建立

采用SAP程序的空间杆系有限元方法,建立主塔竖转整体分析模型,其中桁架结构采用Frame单元,各构件结构特性按实际尺寸输入。整体计算模型对应不同竖转角度的施工过程见图4至图7。

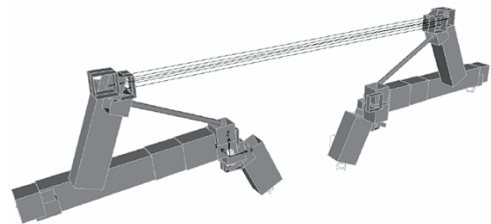


图4 近边跨侧桥塔竖转0°

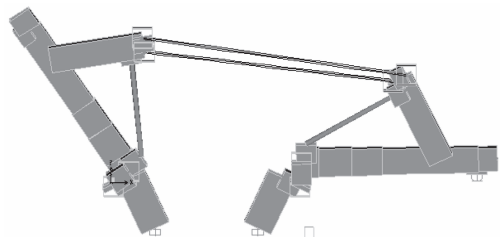


图5 近边跨侧桥塔竖转60°

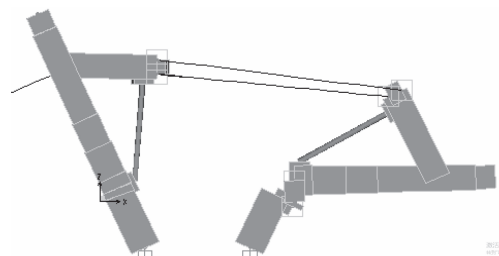


图6 近中跨侧桥塔竖转0°

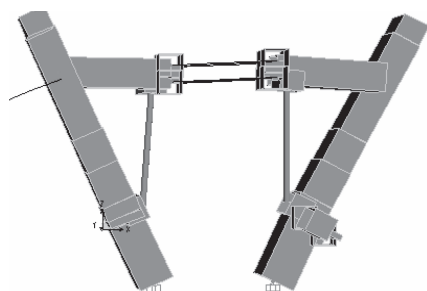


图7 近中跨侧桥塔竖转60°

2.2 主塔竖转荷载

计算荷载考虑主塔竖转段自重荷载和风荷载,并采用标准值组合作为荷载组合。

考虑锚箱、临时结构的质量,索塔转体段总重约6 200 kN。

根据《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012),按照6级风荷载风压0.12 kN/m²计算纵向风荷载W_x及横向风荷载W_y。

$$W_x = W_k \cdot A_x = \beta_z \mu_s \mu_z w_0 A_x \quad (1)$$

$$W_y = W_k \cdot A_y = \beta_z \mu_s \mu_z w_0 A_y \quad (2)$$

式中:W_x为纵向风荷载;W_y为横向风荷载;W_k为单位面积风荷载;A_x为纵向迎风面积;A_y为横向迎风面积;β_z为Z高度处的风振系数;μ_s为体型系数;μ_z为Z高度处的风压变化系数;W₀为基本风荷载。

纵向风荷载计算值约为53 kN,横向风荷载计算值约为99 kN。

2.3 竖转转轴集中荷载效应分析结果

建立包含主塔竖转0°、竖转10°、竖转20°、竖转30°,直到竖转60°的施工阶段分析模型,比较不同的竖转转角下,V型主塔竖转转轴处的轴向和剪力方向集中荷载。计算结果表明,随着竖转转角增大,桥塔竖转转轴处,上、下转动铰的轴向和剪力方向集中荷载都在不断减小。

篇幅所限,本文主要介绍竖转转角为0°、30°、60°时主塔竖转转轴处的内力(见表1)。

表1 主塔竖转转轴内力统计表

塔柱位置	施工工况	转轴构件	轴力/kN	剪力/kN
近边跨侧塔柱	竖转 0°	上转动铰	-3 561	1 416
		下转动铰	-3 561	1 416
	竖转 30°	上转动铰	-2 440	532
		下转动铰	-2 440	532
	竖转 60°	上转动铰	-1 520	-144
		下转动铰	-1 520	-144
近中跨侧塔柱	竖转 0°	上转动铰	-3 123	1 068
		下转动铰	-3 123	1 068
	竖转 30°	上转动铰	-3 018	53
		下转动铰	-3 018	53
	竖转 60°	上转动铰	-2 539	-828
		下转动铰	-2 539	-828

计算结果表明,主塔竖转0°施工状态,转轴处的轴向和剪力方向的集中荷载效应最大,竖转转轴的受力状态最为不利。主塔竖转0°施工状态,为桥塔竖转过程中的受力关键状态。

3 竖转转轴局部受力性能分析

3.1 竖转转轴局部受力性能分析内容

根据主塔竖转整体分析计算结果,选取近边跨侧塔柱竖向转角0°、竖向转角30°这两个施工状态,作为局部计算分析的特征阶段。竖转转轴处施加的荷载,根据主塔竖转0°以及竖转30°时,转轴处的轴向和剪力方向所受的集中荷载计算结果来确定。转轴处局部受力关注的计算内容见表2。

表2 竖转转轴局部受力性能计算内容表

塔柱位置	施工工况	施加荷载	计算内容
近边跨侧塔柱	竖转 0°	整体分析 计算内力	上转动铰应力及变形
			下转动铰应力及变形
			销轴抗剪强度分析
	竖转 30°	整体分析 计算内力	孔壁抗压强度分析
			上转动铰应力及变形
			下转动铰应力及变形
			销轴抗剪强度分析
			孔壁抗压强度分析

3.2 竖转转轴上、下转动铰局部分析模型建立

本文采用ANSYS软件,分别建立图8所示上转动铰和下转动铰的有限元分析模型。其中,单元类型选用SOLID45实体单元。

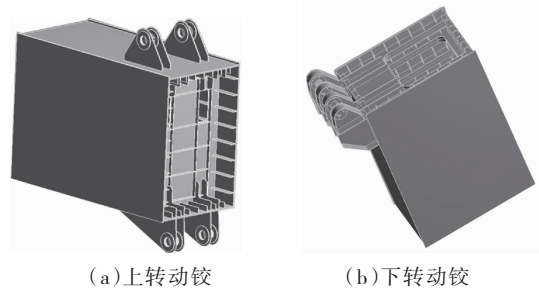


图8 上、下转动铰局部分析模型示意图

根据竖转施工过程中的现场实况,设置模型的边界条件;根据主塔整体分析模型的计算结果,设置施加在模型上的荷载。计算模型的物理参数,按照抗压弹性模量E=2.06 × 10⁵ MPa,泊松比ν=0.3,密度ρ=7.85 × 10³ kg/m³来考虑。

3.3 竖转转轴上、下转动铰应力及位移分析

近边跨侧塔柱竖向转角0°、30°施工阶段,上、下转动铰的应力和位移见表3。

竖转0°,上转动铰应力位移云图见图9。

竖转0°,下转动铰应力位移云图见图10。

篇幅所限,竖转30°工况不再赘述。

计算结果表明,主塔竖转施工的过程中,竖转转

表3 主塔竖转转轴内力统计表

塔柱位置	施工工况	转轴构件	应力 /MPa	变形 /mm
近边跨侧塔柱	竖转 0°	上转动铰	170.0	1.60
		下转动铰	109.6	2.10
	竖转 30°	上转动铰	110.9	1.27
		下转动铰	162.8	5.20

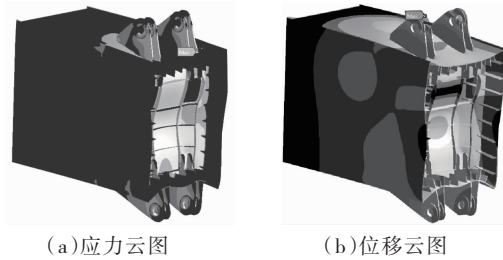


图9 上转动铰局部分析模型

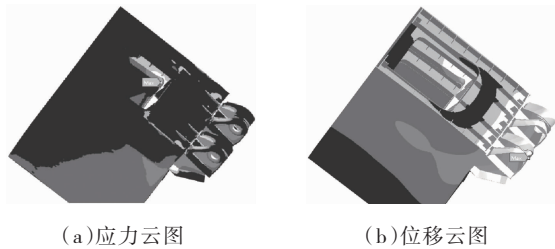


图10 下转动铰局部分析模型

轴的强度和刚度均满足要求。

3.4 销轴抗剪强度分析

根据圆截面剪应力计算公式,计算销轴的最大剪应力:

$$\tau_{max} = \frac{4F_Q}{3A} \quad (3)$$

式中: τ_{max} 为最大剪应力; F_Q 为剪力方向合力; A 为抗剪面积。

销轴荷载最大工况为近边跨侧塔柱竖转 0° 工况,单个转轴所受合力的标准值为 3 832 kN。转轴半径为 175 mm,最大剪应力计算结果为 75 MPa,小于

最大抗剪强度 282 MPa,转轴剪应力满足强度要求。

3.5 耳板孔壁抗压强度分析

单个耳板承载 1 916 kN,耳板及加强圆环厚度为 96 mm,内径为 350 mm。

$$\sigma = \frac{4F_Q}{Dt} \quad (4)$$

式中: σ 为孔壁压应力; F_Q 为剪力方向合力; D 为转轴孔壁内径; t 为耳板及加强圆环厚度。

孔壁最大压应力为 160 MPa,满足使用要求。

4 结 语

V型桥塔的竖转转轴是桥塔竖转施工中的关键受力部件,转轴受力性能好关系全桥施工的成败。对于竖转施工的V型桥塔,通过建立主塔竖转施工整体计算模型,分析最不利的施工状态,并根据最不利的施工状态,建立竖转转轴的局部分析模型。本文论证了在V型桥塔竖转施工过程中,集中荷载效应不会导致竖转转轴破坏,竖转转轴的强度和刚度均能满足要求,可为类似的V型桥塔结构施工提供参考。

参考文献:

- [1] 张杨永,肖汝诚.超大跨度V塔斜拉桥的经济与力学特性[J].同济大学学报(自然科学版),2009,37(10):1321-1324.
- [2] 王大千.V型双拱塔斜拉桥受力行为分析[D].成都:西南交通大学,2018.
- [3] 高伟.“V”型塔双索面斜拉桥荷载试验研究[J].工程与建设,2019,33(6):863-866.
- [4] 谢曙辉.斜拉桥主塔竖转结构受力特征分析[J].城市道桥与防洪,2023(2):56-59.
- [5] 康俊涛,何林,范杰,等.马蹄形独塔斜拉桥钢主塔竖转施工监控关键技术[J].公路,2016,61(1):95-101.
- [6] 司永明,姬子田,胡敏,等.钢箱混凝土索塔竖转过程的受力分析[J].公路,2022,67(8):130-136.

《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

投稿邮箱:cdq@smedi.com 电话:021-55008850 联系网站: http://www.csdqyfh.com