

Design of Temporary Horizontal Cable and Brace for West Tower of Chaibuxi Grand Bridge

Chengyong Liu¹ Wei Zhou¹ Kai Gong¹ Bowen He²

1. Hubei Communications Investment Intelligent Detection Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430050, China

2. CCCC Second Highway Consultants Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430071, China

Abstract

In order to improve the safety of two-way inclined cable tower during construction and meet the requirements of stress and line shape in the tower state. Taking the tower on the west side of Chaibuxi bridge as the background, this paper introduces the layout of temporary cable and temporary braces, the calculation of construction force and the design of temporary structures during the construction of the tower. The stress of the tower column during construction and the displacement and stress when the tower is completed meet the requirements. The effect of temperature on the main power when it is applied and the correction relationship between the temporary tie rod and the temporary cross brace and the temperature. The stress and stability of the temporary structure meet the requirements of the specification. It can provide a reference for the construction of similar cable-stayed bridges in the future.

Keywords

cable-stayed bridge; tower; temporary bracing; jacking force

斜拉桥塔柱施工临时水平拉杆与横撑构造优化及受力性能分析

刘成勇¹ 周伟¹ 龚凯¹ 何博文²

1. 湖北交投智能检测股份有限公司, 中国·湖北 武汉 430050

2. 中交第二公路勘察设计研究院有限公司, 中国·湖北 武汉 430071

摘 要

为提高双向倾斜索塔在施工过程中的安全性及成塔状态下满足应力和线形的要求。该文以柴埠溪大桥西侧索塔为背景, 介绍了索塔施工过程中的临时拉杆和临时横撑的布置、施工力的计算、临时结构的设计等内容。施工过程中产生的塔柱应力, 成塔状态下的位移和应力均满足要求。主动力施加时温度对其影响以及临时拉杆和临时横撑与温度的修正关系。临时结构的应力和稳定性满足规范要求。可为今后的同类型斜拉桥索塔塔柱施工提供参考。

关键词

斜拉桥; 索塔; 临时横撑; 顶推力

1 引言

索塔作为斜拉桥的主要承重结构, 其线形及其受力情况直接关系到整桥的结构受力, 其中横撑的布置和横撑顶推力又是其关键^[1]。焉学永、张念来、欧阳钢等详细介绍了安庆长江大桥斜拉索塔中塔柱横撑的布置、设计及结构的确定^[2]。侯彦明、高敏杰、王宏畅介绍了灌河斜拉桥索塔中塔柱主动横撑结构的优化设计^[3]。李毅提出: 在主动横撑设计时应主要控制塔柱根部混凝土截面应力, 以内力控制为主、变形控制为辅的原则确定主动横撑预顶力; 主动横撑的预顶力值确定应该包括模型受力计算值、温度影响值以及焊接

变形所产生的内力变化值; 施工过程中需要提高塔柱施工、横撑焊接的质量, 并合理安排横撑的拆除时机^[4]。宋本良以某跨海大桥斜拉桥为背景, 介绍了斜拉桥索塔施工过程中的主动横撑计算过程, 并结合施工实践对主动横撑的设置进行了技术总结^[5]。吕长荣、王岩以某在建内倾式斜拉桥桥塔为例, 根据模型计算, 对原桥塔施工临时横撑施工方案进行了优化, 优化后的新方案在确保安全的前提下可减少布置一道临时横撑^[6]。赵全成等以武汉青山长江公路大桥为背景建立桥塔施工阶段有限元模型, 按照以桥塔线形控制为主、内力为辅的原则确定了临时横撑对顶力及最大内力, 并根据临时横撑最大内力进行横撑钢管截面配置、牛腿设计^[7]。裴山、陈常松以嘉鱼长江公路大桥北塔为工程背景, 对索塔应力及线形进行施工计算分析与控制, 得出: 主动横撑安装过程中温度和焊缝收缩对顶推力影响明显; 温度对塔柱的偏位影响在

【作者简介】刘成勇(1990-), 男, 中国湖南茶陵人, 本科, 助理工程师, 从事工程力学研究。

下午 14:00 时最大,在凌晨 03:00—07:00 影响较小,可以忽略,应用双棱镜追踪法能够很好地消除因温度影响造成立模控制点的偏位^[8]。为了深入了解索塔结构的力学行为,以柴埠溪大桥西侧索塔为背景,介绍了索塔施工过程中的临时拉杆和临时横撑的布置、施工力的计算、临时结构的设计等。

2 工程概况

如图 1、图 2 所示,柴埠溪特大桥主桥为 (66+146+480+146+66) m 双塔双索面单层钢—混组合梁斜拉桥。全桥主梁为工字钢组合梁。支撑体系为半漂浮结构体系。索塔下横梁处和各辅助墩处设置竖向活动支座,横向设置抗风、抗震

支座,用于抵抗风荷载和地震荷载作用下的主梁横向效应;每个索塔下横梁处设置带限位的纵向粘滞阻尼器。

全桥主梁断面采用双边工型组合梁断面,共有两片 1 钢主梁,断面全宽 38.5m,横桥向两主梁中心距为 37.0m,中跨及次边跨主梁中心线处梁高 3.0m (下翼缘顶到上翼缘顶),尾跨主梁中心线处梁高 2.66m (下翼缘顶到上翼缘顶)。

索塔自下而上分为塔座、下塔柱、下横梁、中塔柱、上横梁及上塔柱 6 个部分。其中下塔柱划分为 7 个节段;中塔柱划分为 13 个节段;上塔柱划分为 9 个节段。下横梁与塔柱同步施工;上横梁在上塔柱 23 节段浇筑完后施工。

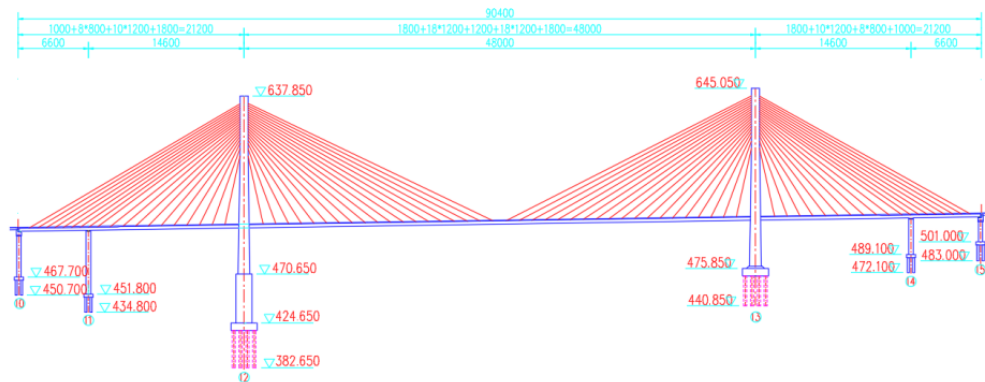


图 1 柴埠溪特大桥主桥总体布置图

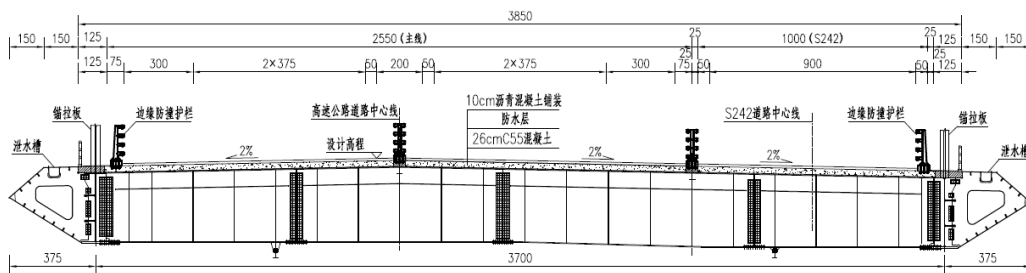


图 2 柴埠溪特大桥主梁横截面图

3 水平拉杆和横撑的位置、施工时机和主动力

首先,以索塔截面应力作为控制因素,并根据索塔施工分节,避让爬模施工空间等因素设计临时横撑位置;然后建立索塔施工阶段模型,按照以索塔线形控制为主、内力为辅的原则确定临时横撑对顶力;再根据计算结果配置临时横撑的钢管截面、牛腿等结构;最后对临时横撑拆除顺序进行分析,并结合现场施工因素,制定合理的拆除顺序。

3.1 位置和施工时机

悬臂施工时,在倾斜塔肢自重、施工荷载等作用下,索塔根部形成极大的弯矩。为确保索塔施工过程中无裂缝出现,以索塔根部截面最大拉应力 $\leq 1.0\text{MPa}$ 作为控制值(C50 混凝土,抗拉强度标准值为 2.65MPa,除以材料分项系数 1.7,其容许拉应力 1.1MPa)。

中塔柱根部截面拉应力的控制是决定横撑预加力大小

和位置的关键,单肢塔柱的受力可按悬臂梁处理,其根部截面产生的拉应力最大,该截面的应力可采用下式计算:

$$\sigma = \frac{M_x}{I_x} y_x + \frac{M_y}{I_y} y_y - \frac{N}{A} \leq [\sigma]$$

式中: M_x 、 M_y ——塔柱在施工过程中自重及施工荷载作用下顺桥向和横桥向弯矩;

I_x 、 I_y ——塔柱相应方向上的截面惯性矩;

y_x 、 y_y ——塔柱根部截面中性轴到受拉侧截面边缘的最大距离;

N ——塔柱在施工过程中自重及施工荷载作用下的轴力;

$[\sigma]$ ——最大拉应力 1.0MPa。

综合考虑索塔模板的空间问题,共设三处:下塔柱一道水平拉杆位于下塔柱 4 节段,在下塔柱 6 节段浇筑完后施

工并张拉；中塔柱共两道水平横撑，第一道横撑位于中塔柱 12 节段，在中塔柱 15 节段浇筑完后施工并顶推，第二道横撑位于中塔柱 16 节段，在中塔柱 19 节段浇筑完后施工并顶推。水平拉杆在下横梁预应力张拉后拆除；水平横撑在上横梁预应力张拉后拆除。关键工序信息见表 1。

3.2 主动力

由于该塔肢悬臂较长，塔肢水平位移对力较为敏感。因此，临时横撑对顶力设计原则以索塔线形控制为主，内力为辅助。综合考虑塔柱施工过程中单塔肢最大位移 $\leq 20\text{mm}$ ，塔柱混凝土最大拉应力 $\leq 1.0\text{MPa}$ ，最后确定

水平拉杆力为 7000kN，第一道横撑顶推力为 2400kN，第二道横撑顶推力为 2000kN。

3.3 主动力施工前后关键截面的应力变化

从表 2 可知：在主动力施工的过程中，关键截面的拉应力均小于 1.0MPa，最大值为 0.56MPa，出现在下塔柱根部，时机为第 1 道水平拉杆施工之前。

3.4 成塔状态

成塔状态的位移见图 3，最大位移 19.8mm，小于 20mm，索塔横向可以不设置预偏。成塔时应力见图 4，没有出现拉应力，最大压应力为 4.4MPa。

表 1 柴埠溪特大桥西塔关键工序信息表

名称	结构位置	施工时机
第 1 道水平拉杆	4# 节段（距塔座 17m）	6# 节段浇筑后、横梁浇筑前
下横梁（同步施工）		
第 1 道水平横撑	12# 节段（距下横梁中心 27.2m）	15# 节段浇筑后
第 2 道水平横撑	16# 节段（距下横梁中心 51.2m）	19# 节段浇筑后
上横梁（异步施工）		
		23# 节段浇筑后

表 2 主动力安装应力变化（单位：MPa）

工况	下塔柱根部		中塔柱根部		第 1 道横撑位置	
	内侧	外侧	内侧	外侧	内侧	外侧
第 1 道水平拉杆	0.56 → -0.42	-1.24 → -0.40				
第 1 道水平横撑			-1.63 → -0.22	0.10 → -1.10		
第 2 道水平横撑					-1.97 → -0.58	-0.25 → -1.45

注：“→”前、后数据为未安装横撑（拉杆）、安装横撑（拉杆）后该位置的应力大小；正为拉应力，负为压应力。

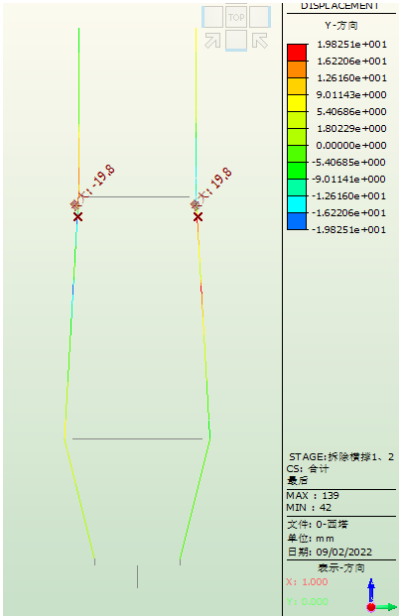


图 3 柴埠溪特大桥西塔成塔横向位移图（单位：mm）

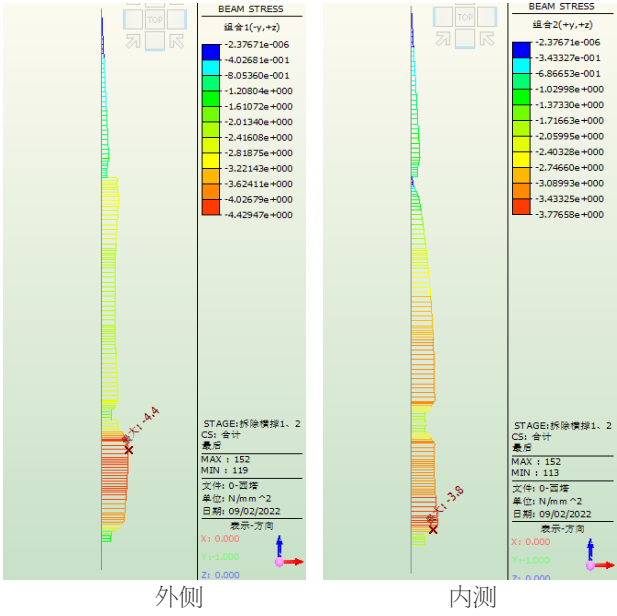


图 4 柴埠溪特大桥西塔成塔应力图（单位：MPa）

4 结构设计

水平拉杆为 4 束 $\phi 15.2$ -15 标准强度 1860MPa 钢绞线；2 道水平横撑均为 2 根 $\phi 800 \times 12\text{mm}$ 钢管。水平拉杆和横撑最大内力见表 3。基准温度为 15°C ，近 50 年极端最高气温为 39.8°C ，极端最低气温为 -2.7°C 。

水平拉杆和横撑最大内力见表 3。

拉杆最大应力： $N/A=1852.4\text{kN}/2080.5\text{mm}^2=890.4\text{MPa}$ ，小于 1860MPa。横撑最大应力： $\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{I} \times \frac{h}{2}=63.6\text{MPa}$ ，小于 235MPa。

为了增加横撑稳定性，在第 1、2 道水平横撑增加了 4 个 $\phi 426 \times 6\text{mm}$ 稳定撑，具体见图 5。

表 3 水平拉杆和横撑最大内力图（单位：kN/kN·m）

	初始轴力	施工过程中最大轴力	降温 17.7°C	升温 24.8°C	最大轴力	最大弯矩
第 1 道水平拉杆	1750	1767.0	85.4	/	1852.4	/
第 1 道水平横撑	1200	1892.8	/	557.9	2450.7	151.8
第 2 道水平横撑	1000	1642.7	/	246.9	1889.6	120.7

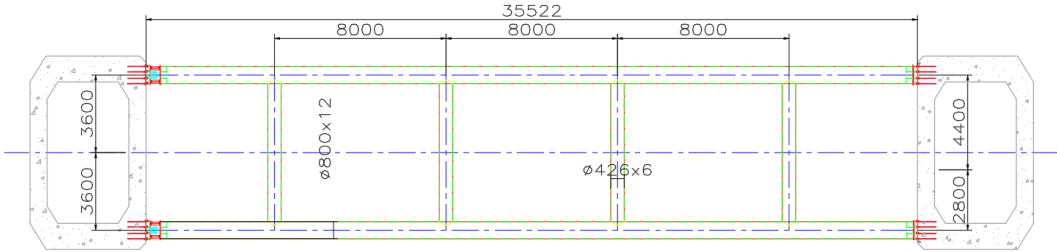


图 5 水平横撑稳定撑示意图

5 主动力施加时的温度影响

施加主动力与温度线性相关，主动力施工须在温度相对恒定的时段。如果环境温度偏离 15°C （基准温度），则预顶力按下列公式进行修正：

$$\begin{aligned} F_0 &= 4 \times (-4.9 \times \Delta T + 1750) \text{ (kN)} \\ F_1 &= 2 \times (22.5 \times \Delta T + 1200) \text{ (kN)} \\ F_2 &= 2 \times (10.0 \times \Delta T + 1000) \text{ (kN)} \end{aligned}$$

式中， ΔT 为环境温度与 15°C 的差值； F_0 、 F_1 、 F_2 分别为温度修正后的第 1 道水平拉杆、第 1 道水平横撑、第 2 道水平横撑施加力。

6 结论

①在主动力施工的过程中，关键截面的最大拉应力为 0.56MPa，小于 1.0MPa；成塔最大横向位移 19.8mm，小于 20mm，索塔横向可以不设置预偏；成塔时没有出现拉应力，最大压应力为 4.4MPa。

②水平拉杆为 4 束钢 $\phi 15.2$ -15 标准强度 1860MPa 钢绞线，最大应力为 890.4MPa，小于容许应力 1860MPa；水平横撑均为 2 根 $\phi 1000 \times 10\text{mm}$ ，最大应力为 63.6MPa，小于容许应力 235MPa。

③施加主动力与温度线性相关，主动力施工须在温度

相对恒定的时段，且须进行温度修正。

索塔施工过程中的临时拉杆和临时横撑的布置、施工力的计算、临时结构的设计满足规范要求，可为今后同类斜拉桥索塔塔柱施工提供参考。

参考文献

[1] 梁亦登.异形拱塔斜拉桥施工关键技术研究[D].南宁:广西大学,2020.

[2] 焉学永,张念来,欧阳钢,等.安庆长江大桥索塔中塔柱施工技术[J].中外公路,2004(6):64-67.

[3] 侯彦明,高敏杰,王宏畅.淮河斜拉桥索塔中塔柱主动横撑结构的优化设计[J].公路交通技术,2009(1):53-56.

[4] 李毅.斜拉桥双向倾斜桥塔主动横撑设计及施工控制[J].桥梁建设,2013,43(3):109-113.

[5] 宋本良.大跨组合斜拉桥索塔主动横撑的应用分析[J].北方交通,2017(7):40-42.

[6] 吕长荣,王岩.内倾式斜拉桥桥塔临时横撑施工方案优化应用研究[J].公路,2018,63(9):105-111.

[7] 赵全成,刘晓波,左小明.武汉青山长江公路大桥北塔临时横撑设计[J].桥梁建设,2020,50(S1):100-105.

[8] 裴山,陈常松.嘉鱼长江公路大桥索塔应力及线形施工控制[J].中外公路,2020,40(3):146-150.