

大倾角多曲率无下横梁“人”字型斜拉桥索塔施工技术

叶灿军

巢湖市重点工程建设管理中心

摘要: 索塔和主梁、斜拉索共同组成斜拉桥,索塔作为斜拉桥的主要受力构件,一般由塔冠、塔柱、横梁、塔座等几部分组成。塔身受自重以及通过拉索传递给塔的水平荷载和竖向荷载(活载)。常规的斜拉桥索塔施工常采用翻模施工或移动脚手架爬模施工工艺,采用落地式支架施工横梁,而“人”字型索塔由于塔身倾角大、斜率过渡次数多及缺少下横梁的原因,国内施工技术尚未成熟。本文开展了“大倾角多曲率无下横梁“人”字型索塔施工技术”研究,提出采用后场集中预制、分片吊装劲性骨架配合设置调整杆的液压爬模进行索塔曲率转换;采用主动式“临时横撑+传感器”的设计,根据不同施工工况来调整横向支撑顶推力,使得索塔抗弯矩能力和稳定性得到了极大的改善,有效降低了塔柱根部拉应力;采用悬空支架法进行塔梁异步施工,缩短施工周期。该项技术成功应用在巢湖市巢湖大桥,创造良好的经济和社会利益,弥补了国内相关施工技术短板。

关键词: 斜拉桥;人字型索塔;协作体系;全漂浮;无下横梁

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.06.047

一、工程概况

巢湖大桥是湖光路与巢湖的交叉工程,位于市区西郊,是巢湖市“两环三横三纵”的关键性工程。

(一) 主桥结构概况

1. 大桥总体布置

大桥采用双塔空间双索面组合梁协作体系斜拉桥。全桥跨径布置为:54m(北引跨)+216.5m(北边跨)+460m(主跨)+216.5m(南边跨)+65m+55m+55m(南引跨)=1122m。

主梁采用钢-混凝土组合钢板梁;主塔采用“人”字型桥塔;斜拉索采用扭绞型平行钢丝斜拉索,冷铸锚。

主桥断面布置为:3.5m(人非一体)+1.0m(拉索锚固区)+0.5m(栏杆)+12.0m(车行道)+0.5m(分隔墩)+12.0m(车行道)+1.0m(拉索锚固区)+0.5m(栏杆)+3.5m(人非一体)=34.5m(总宽)

2. 主梁构造

主梁采用钢-混凝土组合钢板梁,水平投影长度为1122m,由126个组成,节段与节段之间采用焊接的方式。主体结构主要由Q345钢组成,部分由Q420钢组成。无索区段主梁梁宽为32.5m,有索区段梁宽为34.5m;在N1、S1墩顶设有混凝土双结合+压重段,在S2、S3墩顶设混凝土双结合段;引跨及部分边跨主纵梁截面形式采用箱形截面,剩余梁截面形式采用I字形截面。

锚拉板:斜拉索的锚固形式采用锚拉板的结构,锚板直接焊于主纵梁腹板中心对齐的纵梁顶板上。在混凝土湿接缝高度范围内,锚拉板通过布置焊钉与混凝土结合的方式保证了锚拉板的侧向受力。

混凝土桥面板预应力:在N1、S1~S3墩顶和主跨跨中的混凝土桥面板上布置有纵向预应力。

3. 主塔构造

主塔采用“人”字形桥塔,N0(北塔)塔高143.8m,S0(南塔)塔高146.6m。每座桥塔设置两个下塔柱牛腿,两道横梁;牛腿位于桥面靠下位置,中横梁位于桥面以上约64.5m高度处,上横梁位于塔顶。

主梁与主塔之间无竖向支座,塔梁分离,设零号索。牛腿上设有顺桥向限位支座(仅S0塔),阻尼器、横向抗风支座(S0塔和N0塔)。

4. 斜拉索构造

斜拉索采用扭绞型平行钢丝斜拉索,冷铸锚。每个塔柱拉索装置由24对斜拉索(1~24号)和1根0号索组成,中横梁内锚固0号索,中塔柱内锚固1~24号索。塔顶锚固形式分塔壁直接锚固(0~9号)和钢梁锚固(10~24号),梁面采用锚拉板的结构形式。张拉端位于塔顶,固定端位于梁上。

二、大倾角多曲率无下横梁“人”字型斜拉桥索塔施工技术特点

按照现场实际情况,采用后场集中预制、分片吊装劲性骨架配合设置调整杆的液压爬模进行索塔曲率转换;采用主动式“临时横撑+传感器”的设计,根据不同施工工况来调整横向支撑顶推力,使得索塔抗弯矩能力和稳定性得到了极大的改善,有效降低塔柱根部拉应力;采用悬空支架法进行塔梁异步施工,投入的大型机械使用设备减少,降低施工成本,缩短循环施工周期。特点如下:

第一,采用在索塔施工中设置预制拼装劲性骨架,在进行直曲、曲直转换施工时,通过调整爬轨套件上的定位档件使其适应塔柱曲线部分的线型要求,改变爬轨踏步块的距离,定位施工方便快捷,不仅精度高、而且可以避免发生误差累积。

第二,采用主动式“临时横撑+传感器”的设计,根据不同施工工况来调整横向支撑顶推力,在混凝土自重、施工荷载及风荷载作用下,使得索塔抗弯矩能力和稳定性得到了极大的改善,有效降低塔柱根部拉应力,从而使塔柱不产生裂缝,使得在保证施工质量和确保施工有序方面并驾齐驱。

第三,采用悬空支架后场制作、预拼,前场吊装就位的方法,进行塔梁异步施工。投入的大型机械设备相对较少,施工成本较低,循环施工周期较短,具备较高的投入产出比。

三、施工技术适用范围

本技术适用于横桥向倾角较大、曲率多变且没有下横梁的斜拉桥混凝土索塔施工,该类型斜拉桥索塔施工过程中塔肢呈大悬臂状态,需设置主动式横撑对索塔进行线型控制。其他类型混凝土索塔施工可以参照使用。

四、施工技术原理

(一) 技术原理一

在索塔的施工过程中设置预制拼装劲性骨架及索导管定位架,提高了索管空间定位和钢筋架立的能力,以保证索管空间定位精准度和钢筋架立的精准度,在进行直曲、曲直转换施工时,通过调整爬轨套件上的定位档件使其适应塔柱曲线部分的线型要求,改变爬轨踏步块的距离,以满足施工平台的空间位置和安全的要求。

(二) 技术原理二

塔柱(斜塔柱)施工时,对各施工阶段模板及支撑系统的强度、变形进行计算,在施工过程中设置主动式临时横向支撑,通过调整横向支撑顶推力来加强塔柱施工过程中的应力、变形控制,并通过设置在横向支撑上的传感器监控横撑应力应变。

(三) 技术原理三

横梁支架施工时,根据其结构、重量及支撑高度,采用悬空支架法施工,通过采用预埋钢牛腿加贝雷梁的形式作为模板支撑体系,采用先塔柱后横梁的异步施工方法:

(四) 技术原理四

四是通过一种预应力粗钢筋深埋锚张拉工具解决钢筋密集区域精轧螺纹钢的张拉及压浆。

五、施工工艺流程及操作要点

(一) 施工工艺流程见图1

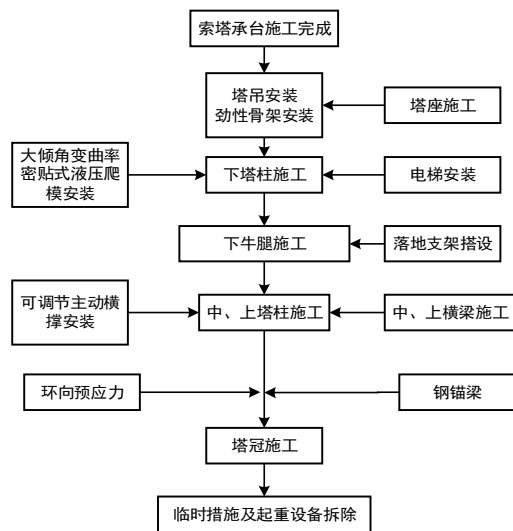


图1 施工工艺流程图

(二) 操作要点

1. 塔吊安装

桥塔材料、模板、临时结构、设备等全部采用塔吊吊装运输。根据桥塔结构形式及现场条件,分别在每个塔柱塔肢两侧设置塔吊。每个索塔由2台塔吊进行垂直起吊运输,根据塔吊的工作半径、起升高度、吊装重量和起重力矩等参数选择TC7530作为主塔吊、TC6015作为辅吊,加快施工进度。

2. 劲性骨架安装

①塔座施工时应应对立柱桁架进行预埋,预埋深度150cm,伸出混凝土浇筑节段顶面15cm。劲性骨架标准节段高按4.5m设置,塔柱曲率变化的节段根据索塔线型做适当调整。

②骨架顶部设置桁架连接板,按塔柱倾斜角度焊接限位角钢。

③吊装桁架,当桁架对角立柱进入连接板上的限位装置内,按要求测量校核倾斜位置,达到要求后将骨架与连接板施焊。

④用角钢连接固定桁架,焊接索导管定位架。

⑤在劲性骨架周边以及桁架内搭设临时钢筋安装施工平台。

3. 塔座施工

塔座是索塔与承台连接的重要结构物。施工时,塔墩劲性骨架和主筋预埋的准确性直接影响塔墩的施工定位精度,必须准确测量定位。塔座混凝土的浇筑和承台浇筑间隔时间不应太长,最好在承台浇筑后立即进行。相对承台而言,塔座混凝土体积小,标号高,混凝土收缩较大,受承台的约束影响,塔座容易产生收缩裂纹,且塔座为实心结构,属大体积混凝土,施工时采取的温控措施为内散外储,降低水化热,防止混凝土收缩开裂。

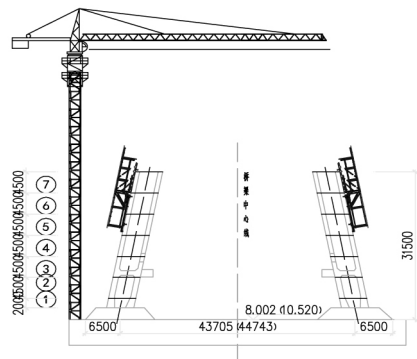
4. 下塔柱施工

塔座是索塔与承台连接的重要结构物。施工时,索塔劲性骨架和主筋预埋的准确性直接影响后续节段塔身的施工定位精度。

①为减小施工缝对结构受力的影响,下塔柱2m高节段与塔座一同浇筑。首节段施工采用液压爬模模板体系(暂不安装爬架及施工平台)进行翻模施工。

②下塔柱2m高节段施工结束后,将架体全部吊装下来,用塔吊将承重三脚架安装在第一节塔柱的挂座上进行固定,并安装爬模,施工第二节塔柱。第二节塔柱浇筑完成后,安装爬模后移撑杆及后移平台,进行第二节塔柱脱模、爬升,安装第三级平台及挂吊平台,施工第三节塔柱,此时液压爬模按正常步骤拼装即可,施工完第三节塔柱液压爬模安装完所有平台及构件,正常进行爬升。

③标准段塔柱施工流程为:爬架提升→施工放线→劲性骨架安装→劲性骨架定位测量检查→钢筋接长及绑扎钢筋→安装内、外侧模板→检查签证→浇注混凝土→养护、凿毛→导轨提升→爬架提升→(安装主动横撑)→下一节段施工重复进行直至整个下塔柱施工完成。下塔柱节段施工见图2。



5. 大倾角变曲率密贴式液压爬模安装

①模板组装

为适应桥塔倾斜角度大、斜率多变及截面尺寸的变化,采用钢木组合模板,模板由WISA板、木工字梁、钢围檩组成。钢围檩与钢背楞之间通过焊接的方式连接,通过钢垫板调整模板面板与塔身线型的匹配;面板与骨架通过沉头螺栓连接固定而形成整体,中塔柱模板总高

度4.8m, 为了保证浇筑质量下包已浇筑混凝土面10cm, 模板见. 图3。

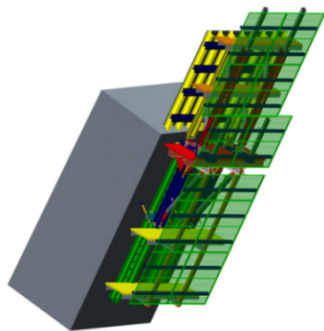


图3 大倾角液压爬模体系三维示意图

②模板抗倾斜加固

外模顺桥向设置4榀爬模机位, 横桥向设2榀爬模机位, 内模设4榀爬模机位。每一组两榀爬架上下平台梁用附加平台梁焊接成整体, 与相邻的一组爬架的各层平台梁用螺栓连接成整体, 最终将一个塔肢4组爬架连接成一个整体。对四组模板阳角位置通过斜拉杆连接固定, 形成整体结构, 以防止由塔柱倾斜角度大引起模板倾覆与松动漏浆。

③模板曲率适配

为使模板在曲率变化情况下与索塔秘贴, 在钢背楞与木工字梁后塞入楔形块, 改变WISA板的弧度。并调整爬轨上的定位杆, 完成轨道之间的区直过渡。

6. 下牛腿施工

下塔柱牛腿采用钢混结合牛腿, 采用满堂支架法施工, 混凝土牛腿尺寸为1.6m*7.1m, 由于牛腿位置与有钢梁顶推轨道有冲突, 所以待顶推段钢梁施工完成后, 再进行混凝土牛腿浇筑。牛腿浇筑采用落地支架。

7. 中、上塔柱施工

①索道管定位施工

考虑到斜拉索的安装精度及定位方便, 在钢结构加工场设置索道管专用定位台座, 在台座上将工厂预制完成的套管和劲性骨架之间利用角钢固定并焊成整体, 然后整体吊装至索塔上。将索道管定位架插入塔柱内预留的限位板内。

②锚固区环向预应力施工

斜拉索在塔端的锚固由混凝土锚固及钢锚梁锚固两种方式组成, 因为第0~9对斜拉索与竖向角度较大, 所以直接锚固在中上塔柱上部混凝土底座上, 钢锚梁上锚固第10~24对斜拉索锚, 设置于上塔柱中, 锚固区的环向预应力采用精轧螺纹钢。待塔身强度及弹性模量均达到设计的100%时, 在爬模的吊平台上进行预应力粗钢筋张拉。塔柱预应力施工均采用单根张拉和真空压浆工艺。预应力粗钢筋施工时埋设锚垫板、锚盒和预应力管道, 将预应力粗钢筋穿入铁皮管内。采用以张力控制为主, 伸长量控制为辅, 张拉力与伸长量相互配合的方法张拉预应力。张拉程序为: 先对称张拉长边精轧螺纹钢, 再对称张拉短边精轧螺纹钢。

张拉使用深埋锚张拉工具, 张拉完成后及时进行压浆, 在锚盒内焊接环向钢筋并立模浇筑封锚混凝土, 防止锚具锈蚀。

③针对“人”字型桥塔研发了一种可调节的智能主

动横撑装置, 通过在主钢管及调节管间建立连接部的形式, 以便调整横向支撑的长度、使得对接方便, 施工效率高, 结构稳定性强。通过“主动式临时横撑+传感器”的设计, 根据不同施工工况来调整横向支撑顶推力, 并通过设置在横撑上的传感器监控横撑应力应变极大地增加索塔抗弯矩能力和稳定性, 有效降低塔柱根部拉应力, 从而使塔柱不产生裂缝, 确保施工质量和施工有序进行并驾齐驱。水平横撑立面见图4。

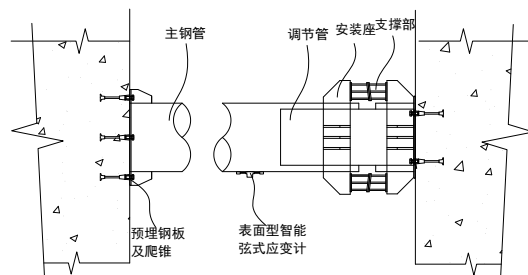


图4 水平横撑立面图

④钢锚梁施工

钢锚梁施工采取工厂制造预拼, 通过陆路或水路运至现场。现场对钢锚梁进行组拼, 相邻钢锚梁匹配完成后分段吊装的方法进行安装, 就位后两段钢锚梁采用栓连接。

8. 中、上横梁施工

中、上横梁距地面较高, 采用悬空支架法施工, 塔柱和横梁异步施工, 支架搭设完成后按照设计要求进行预压。混凝土分两次浇注, 预应力粗钢筋分两次张拉, 即在第一次混凝土达到90%, 弹模达到85%后, 对称张拉一部分底板预应力粗钢筋, 待第二次混凝土达到强度后, 再张拉全部预应力粗钢筋。

9. 塔冠施工

上塔柱施工完成后, 拆除塔柱内侧液压爬架, 使用爬模模板和优质竹胶板施工塔冠。吊装对穿拉杆, 并将背楞通过脚手架固定与已浇筑塔柱上, 并浇筑混凝土。塔冠施工时, 主要考虑避雷针、航标指示灯、塔顶吊架等预埋件的埋设。

六、结语

本技术成功应用于巢湖市巢湖大桥索塔施工。结合塔柱大倾角、无下横梁的造型特点和施工程序, 选用合适的起重设备。通过采用劲性骨架结合可调节轨道液压自爬模施工工艺, 结合有限元计算分析结果配置了“一种带有调节装置的压力感应式主动横撑”通过施加主动对塔柱进行预偏, 实测索塔轴线最大误差为3mm, 小于允许误差±10mm。

参考文献

[1] 项海帆. 高等桥梁结构理论[M]. 人民交通出版社, 2002
 [2] 林元培. 1斜拉桥M 北京: 人民交通出版社. 1999.
 [3] 刘世林, 等. 1斜拉桥 M 1北京: 人民交通出版社. 2002.
 [4] 邵旭东. 1. 桥梁工程 M 1北京: 人民交通出版社, 2007.
 [5] 中国公路学会桥梁和结构工程分会. 2007年全国桥梁学术会议论文集, 北京: 人民交通出版社, 2007