文章编号:1006 - 2106(2015)03 - 0057 - 05

针形钢塔负角度二次竖转施工技术研究*

唐 勇 宋小三**

(中铁大桥局股份有限公司, 武汉 430050)

摘要:研究目的:运用负角度二次竖转施工技术和计算机网络控制同步提升及下放技术实施对上海蕴藻浜斜拉桥针形钢塔进行竖转施工,总结经验,探索这一新技术在桥梁工程钢结构倾斜高塔拼装施工中的应用和推广价值。

研究结论:通过对针形钢塔安装技术的研究比选,结合钢塔的结构特点,得出以下结论:(1)采用负角度二次竖转施工,以钢塔角点处为理论转轴中心,先负角度同步提升,转体 75°后再同步下放至设计位置,该项技术先进、可靠,方案合理、可行;(2)负角度二次竖转施工的先进技术在上海蕴藻浜斜拉桥的成功运用,确保了钢塔安装施工的快速、高效、安全和高质量,节省约 3 个月工期,有效降低了施工成本;(3)该研究成果可用于超高细比、倾斜高塔等钢结构的拼装施工领域。

关键词:针型钢塔;负角度二次竖转;同步提升;同步下放

中图分类号:U445 **文献标识码:**A

Research on the Twice Vertical Swivel Technology by the Negative Point of View of the Needle Steel Tower

TANG Yong, SONG Xiao - san

(China Railway Major Bridge Engineering Co. Ltd, Wuhan, Hubei 430050, China)

Abstract: Research purposes: By using the twice vertical swivel technology by the negative point of view and computer network control synchronization technology of raising and lowering developed vertical swivel construction to needle steel tower of cable - stayed bridge in Shanghai Yunzaobang. This paper sums up the experience to explore the application promotional value of this new technology in the bridge engineering construction of the leaning tower steel structure assembly.

Research conclusions: By comparison with the different method of the steel tower construction technology to select the optimal solution, it is concluded that: (1) It adopts the hydraulically synchronous technique to hoist the negative point of view of the needle steel tower which centered on the steel tower angular point, to swing the steel towel in place with 75°, then synchronous lowering it to the theoretical position. The technology is advanced and reliable, the scheme is reasonable and feasible. (2) The technical innovation on the twice vertical swivel technology by the negative point of view of the needle steel tower is successfully used in Shanghai Yunzaobang cable - stayed bridge, it can guarantee the rapid, efficient, safe and high quality, which can save about three months period and effectively lower the cost. (3) It can be used in the steel structure assembled construction fields of the high and thin inclined tower.

Key words: the needle steel tower; the twice vertical swivel technology by the negative point of view; synchronous hoisting; synchronous lowering

---

* 收稿日期:2014 - 12 - 11

** 作者简介:唐勇,1979 年出生,男,高级工程师; 宋小三,1974 年出生,男,教授级高级工程师。

*** 本文由中国铁道学会工程分会桥梁分专业委员会推荐

钢塔斜拉桥作为城市景观桥梁,与桥址处的自然环境、城市建筑特点、社会人文环境等得到紧密融合,使桥梁与周围环境互为景观的载体。但作为景观桥梁的斜拉桥其塔柱的结构形式各异,在追求桥梁与景观协调美的同时,钢塔柱的安装也带来一定的施工困难。

1 概述

上海蕴藻浜主桥位于云翔大型居住社区西部,城市次干路Ⅰ级,三级航道,河道宽约 62 m,线路与河道交角 23.66°,主桥采用跨径为(35 m + 35 m) + 158 m + 40 m 的针形独塔斜拉桥一跨过河,斜桥正做,桥塔布置在 3.5 m 宽的中分带内,桥面总宽 35.5 m。其桥型布置如图 1 所示。

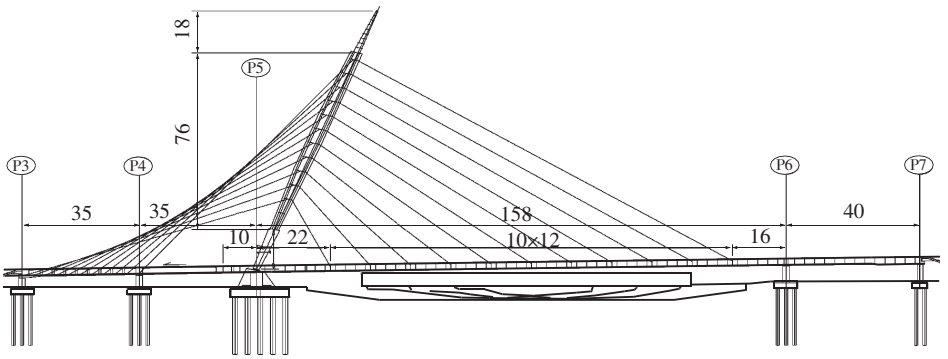


图 1 桥型布置图(单位:m)

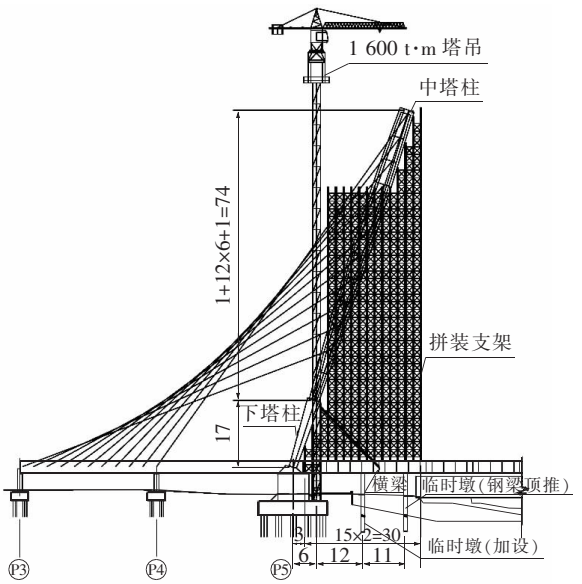
针形钢塔向主跨倾斜 18°,总高 111 m,重约 900 t,分为三段:下塔柱为钢铸构件 + 厚钢板焊接件,高 17.875 m,等边三角形截面上大下小呈棱台体,底部为实心铸钢件,与承台顶面铰支座共同形成铰接构造;中塔柱高 76 m,断面呈等边三角形,由三根外径为 1 300 mm、壁厚 50 mm 的钢管组成,钢管间设置横平联,竖向间距 6 m;上塔柱采用无缝钢管拼接而成,高度为 18 m。

2 针形钢塔施工方案比选

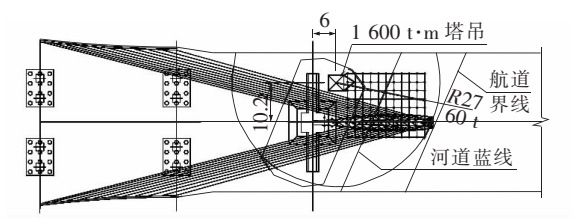
针对该斜拉桥的技术特点,对钢塔安装技术进行方案研究比选,确定一种经济、合理的施工方案。

方案一:采用支架方式安装。整个塔柱采用分节制造,1 600 t · m 塔吊分节散拼,支架安装方案如图 2 所示。由于该针形钢塔为倾斜姿态且较重,高度比较高,纵横向长细比较大,受风荷载的影响大,为保证施工过程中的安全,需要大量的支架杆件及连接系,同时作为 1 600 t · m 塔吊的附墙结构,为保证主梁结构的受力满足要求,需在主梁的底部设置钢管支撑结构。为节省材料,将塔吊布置在承台上,但需在对应位置处的主梁钢箱梁处开孔,后期拆除塔吊后再补焊。该方案需要的材料多,不经济且存在大量的高空作业,安全性相对较差,施工质量难以保证。

方案二:采用正角度一次竖转施工。本方案采用在主梁上拼装支架,主墩位置处拼装竖转塔架,然后利用计算机网络控制同步提升钢塔结构,使之竖转到设计位置,具体方案如图 3 所示。由于钢塔结构在主梁上拼装,为保证主梁受力需要,在主梁底部间隔一定距离设置一道支撑体系。为尽量减少钢塔拼装支架,并减少在钢主梁的开孔尺寸,钢塔的拼装角度经比选后设定为 +10°。该方案需主梁合龙后才能拼装钢塔支



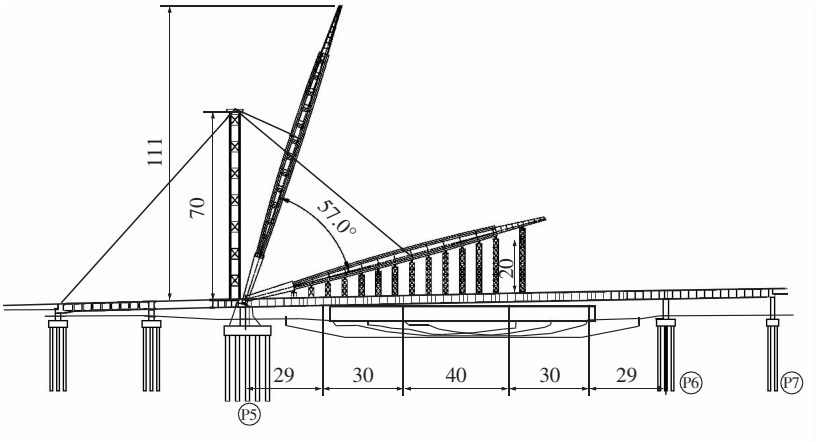
(a) 主塔中塔柱安装立面布置



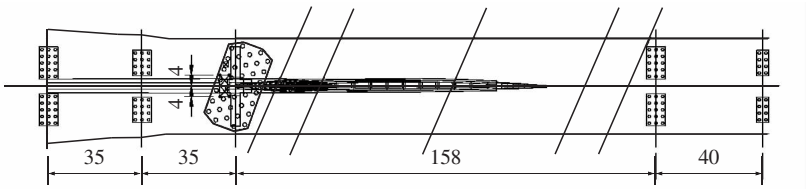
(b) 主塔中塔柱安装平面布置

图 2 支架拼装方案(单位:m)

架,施工工期长,且需拼装高空竖转塔架,主梁下端的河道处需设置临时支撑。



(a) 主塔竖转方案立面布置图



(b) 主塔竖转方案平面布置图

图 3　正角度一次竖转施工方案(单位:m)

方案三:负角度二次竖转施工,如图 4 所示:钢塔在边跨侧拼装,拼装角度为 -10°,拼装完成后以钢塔的理论角点为轴心进行竖转,分别在南北侧设南、北后锚,采用拉压杆结构 + 计算机网络控制系统进行负角度同步提升和下放的二次竖转技术。该方案可采取主梁、钢塔同时拼装的施工顺序,减少河中支架的设置,大大节约工期,且经济效益显著。

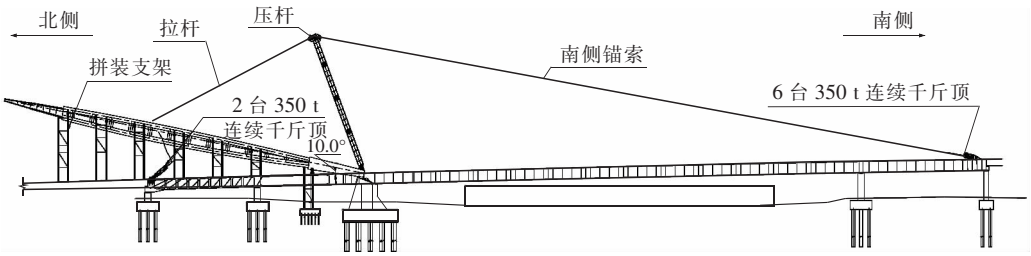


图 4　负角度二次竖转施工方案(单位:m)

经过综合比选研究:采用将钢塔在现场桥位进行平面整体拼装,便于机械化焊接作业,从而使焊接质量、装配精度及检测精度更易得到保证,钢塔结构拼装、焊接及油漆等工作在地面进行,施工效率高,安全防护工作易于组织,施工质量易于保证。同时在另一侧拼装钢主梁,在下塔柱底部设置转动铰,然后利用“计算机控制液压同步提升、下放的二次竖转技术”将其同步竖转提升、同步下放到位,将高空作业量降至最少,加之整个二次竖转作业绝对时间较短,能够有效保证钢塔的安装工期;且提升设备设施体积、重量较小,机动能力强,倒运和安装方便。此方案大大降低了安装施工难度,于质量、安全和工期等均有利。

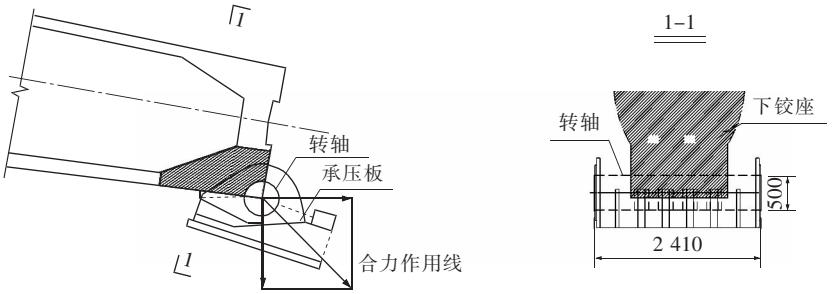
3　负角度二次竖转施工关键技术

钢塔在边跨北侧拼装,拼装角度为 -10°,拼装完成后以钢塔的理论角点为轴心进行竖转,分别在南北侧设南、北后锚,利用“计算机控制液压同步提升、下放的二次竖转技术”,提升力由南侧后锚处 6 台 350 t 千斤顶提供,下放力由北侧后锚处 2 台 350 t 千斤顶提供。钢塔先负角度转体 75°后,在正角度下放到达设

计位置,即向河中倾角 18°。

3.1 转铰设计

钢塔竖转(如图 5 所示)以角点处为理论转轴中心进行竖转,转轴采用 ϕ500 的实体圆轴,为保证转体时钢塔下塔柱的受力,设计采用在下塔柱底部整体铸造承压块,增大下塔柱与转轴的接触面和接触长度。同时通过设置一定数量的承压块将合力传递到主墩处。此方案的一大特点为:竖转起始节段为受力控制工况,随着钢塔的转体,转铰的受力逐渐变小。



(a) 转铰立面图 (b) 1-1 剖面图

图 5 转铰设计(单位:mm)

3.2 拉压杆结构

钢塔转体采用拉压杆结构,其中拉杆结构采用 4 - PES(7) - 163 热挤聚乙烯高强钢丝拉索,两端锚固。压杆为压弯结构,采用钢箱梁形式。南侧提升锚索采用 6 - 31ϕ15.24 - 1 860 MPa 的钢绞线,北侧下放锚索采用 2 - 31ϕ15.24 - 1 860 MPa 的钢绞线。拉压杆结构在开始竖转提升前进行预张拉以形成稳定的三角体系,为保证拉压杆受力最为合理,三角形的形成选择需通过计算确定。施工时拉杆结构单束预拉 300 t,4 束合计预拉 1 200 t,南侧锚索单束预拉 200 t,合计预拉 1 200 t。

3.3 撑杆结构

钢塔断面为长细比较大的结构,为保证竖转施工时的横向稳定,减少转轴的局部受力,需增加撑杆结构,具体如图 6 所示,撑杆结构由牛腿、竖杆和底座、转轴等组成,底座纵桥向与主体主梁的横隔板结构焊接以增加稳定性。其中牛腿结构根据受力采用既有的型钢焊接而成,水平连杆采用刚度较大的箱形梁以被动跟随转动来辅助撑杆的转动,保证其同步性。为保证撑杆转动时长度不发生变化,设置的撑杆转轴与钢塔的转轴应保证在同一直线上,对应需在钢主梁的顶部局部位置处开槽口,在钢塔竖转一定角度后再安装水平连杆,竖转到位后补焊顶板开口位置。

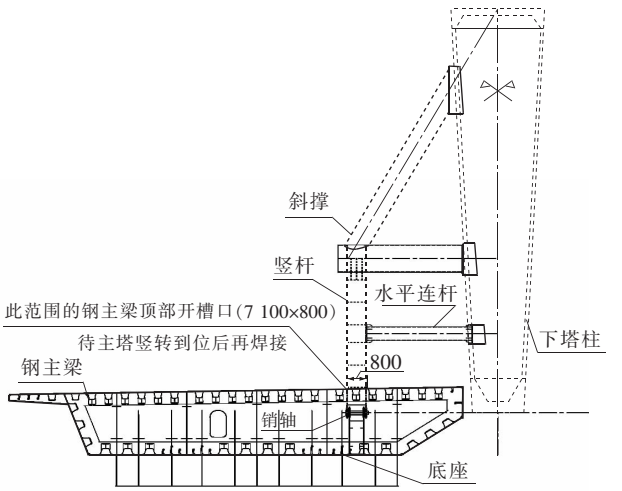


图 6 1/2 撑杆立面图(单位:mm)

3.4 南、北侧后锚

为充分利用既有构造物,南侧后锚设在主跨侧钢主梁上,后锚处连续千斤顶的锚箱通过锚梁、拉板等结构与钢主梁的腹板连接,南侧后锚布置如图 7 所示。北侧后锚设在边跨侧混凝土梁的位置,避开此处预应力钢绞线的位置,通过锚梁、拉板等结构与混凝土梁处的预埋件连接,北侧后锚布置如图 8 所示。为防止拉板拉裂混凝土,设计采用预拉精扎螺纹钢抵消上拔力。

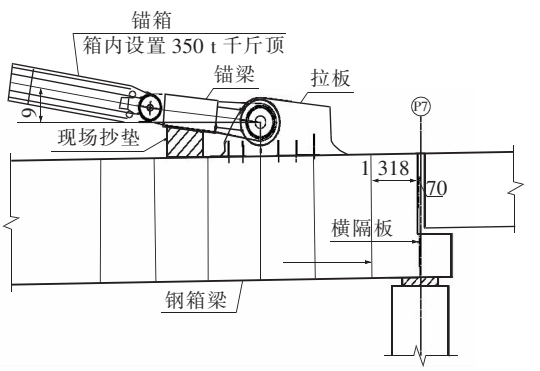


图 7 南侧后锚

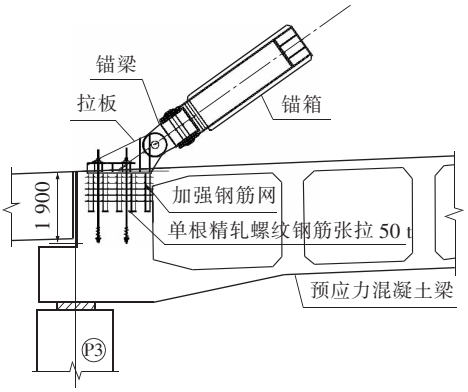


图 8　北侧后锚(单位:mm)

3.5　扣点结构

钢塔竖转的扣点位置设置在钢塔横联 HL1 -7 对应的位置处,扣点设计如图 9 所示,扣点通过耳板、锚梁、加劲板等结构分别与北侧后锚、拉杆结构相连接。为适应二次竖转的过程中平面和里面的位置变化,设计采用二次垂直转铰。

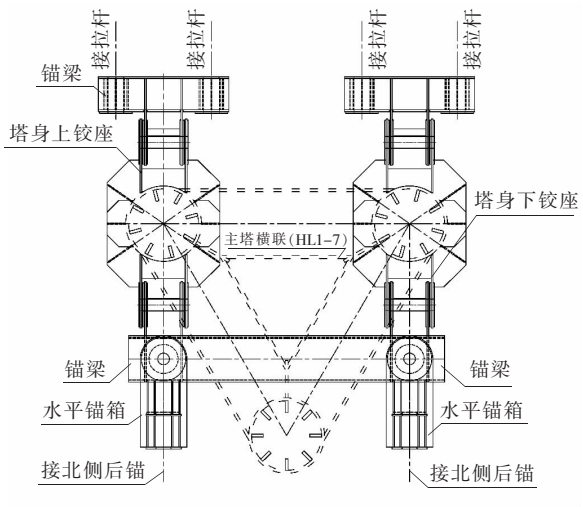


图 9　扣点平面图

3.6　计算机控制同步提升、下放技术

计算机同步控制系统主要由连续千斤顶、液压泵站、传感检测及电气同步控制系统组成。

连续千斤顶:南侧设置 6 台 350 t 连续千斤顶进行钢塔提升竖转,北侧设置 2 台 350 t 连续千斤顶进行下放竖转。

液压泵站:在南、北分别侧配置 3 台、1 台 30 kW 变频液压泵站,控制 350 t 连续千斤顶。

电气同步控制系统:电气同步控制系统由动力控制系统、功率驱动系统、计算机控制系统等组成。

拉锚体系:南侧锚索采用 6 - 31ϕ15.24 mm - 1 860 MPa的钢绞线,北侧锚索采用 2 - 31ϕ15.24 - 1 860 MPa的钢绞线。

钢塔同步提升竖转至 75°后两侧千斤顶逐步进行索力转换,开始下放。下放至设计位置后,各锚点微调使钢塔精确提升到达设计位置,提升设备暂停、锁定,保持针形钢塔空中姿态稳定不变,然后进行斜拉索的安装。

4　结论

通过对针形钢结构斜塔的施工方案研究比选,重点阐述了负角度二次竖转施工方案的关键技术,该方案新颖独特,安全合理,变高空作业为地面作业。施工中采用先负角度提升竖转,再进行二次下放作业,经过一天紧张而有序的操作,顺利竖转到位。负角度二次竖转施工的先进技术在上海蕴藻浜斜拉桥的成功运用,确保了钢塔安装施工的快速、高效、安全和高质量,节省约 3 个月工期,有效降低了施工成本。本技术的实施为今后类似超高细比的倾斜高塔或钢结构的施工提供借鉴和参考。

参考文献:

[1]　JTG/TF 50—2011,公路桥涵施工技术规范[S].
JTG/TF 50—2011,Technical Specification for Construction of Highway Bridges and Culverts[S].

[2]　GB 50017—2003,钢结构设计规范[S].
GB 50017—2003, Code for Design of Steel Structures [S].

[3]　高兴泽,范大意,杨仁康. 景德镇白鹭大桥钢塔竖向转体施工技术[J]. 铁道工程学报,2007(5):55 - 62.
Gao Xingze, Fan Dayi, Yang Renkang. Construction Technique for Vertical Swivel of Steel Tower of Jingdezhen Bailu Bridge [J]. Journal of Railway Engineering Society,2007(5):55 - 62.

[4]　张强. 整体竖转技术在斜拉索桥倾斜索塔施工中的应用[J]. 建筑技术,2008(10):795 - 800.
Zhang Qiang. Application of Whole Vertical - Rotation Technology in Construction of Cable Tower of Cable - Stayed Bridge[J]. Architecture Technology,2008(10): 795 - 800.

[5]　GB/T 714—2008, 桥梁用结构钢[S].
GB/T 714—2008,Structural Steel for Bridge[S].