

“花瓣式”异形斜拉桥钢拱塔节段吊装施工技术

王鹏禹¹, 刘欣¹, 杜仕朝², 郑鹏²

(1. 中国水利水电第三工程局有限公司, 西安 710016; 2. 长安大学桥梁与隧道陕西省重点实验室, 西安 710064)

摘要:为研究异形钢结构桥梁的快速施工方法,以“花瓣式”异形斜拉桥(西安市富裕路沣河大桥)钢拱塔节段吊装无支架施工为例,通过钢拱塔节段工厂制造、现场钢拱塔节段吊装、水平索及斜拉索张拉等施工关键技术,分析工程的特点及难点,对比原设计方案与实施方案的施工速度及施工成本。实践证明:钢拱塔节段吊装无支架施工技术速度快、安全性高、适用性强,同时具有良好的社会效益和经济效益,可为同类型桥梁的快速施工提供有益参考。

关键词:异形;斜拉桥;钢拱塔;节段吊装;施工技术

中图分类号:U448.27

文献标志码:A

1 工程概况

西安富裕路沣河大桥位于西安市沣渭新区中南部,跨越沣河。孔跨布置为(38+36+36+35)m+(80+80)m+(35+35+35)m+(35+35+38)m,桥梁全长525.16m。其中主桥为单塔“花瓣式”钢拱塔斜拉桥,钢拱塔外观结构呈倾斜的网球拍型,与竖直方向夹角约0.436rad,塔身净高约53.178m,其中塔顶距离桥面39.028m,且主塔内墩底至桥面以上3m范围内填充C40混凝土。大桥实景如图1所示,正视图如图2所示,侧视图如图3所示。



图1 大桥实景图

钢拱塔沿高度方向共划分为9个节段,即T0段~

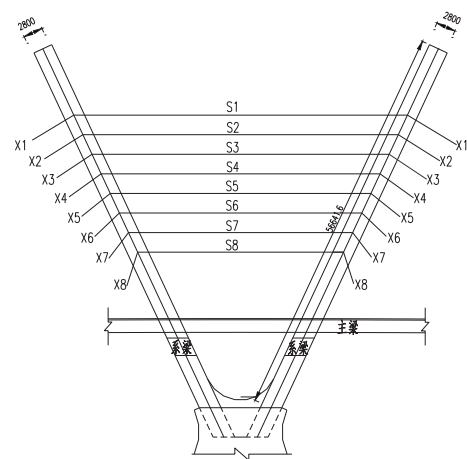


图2 大桥正视图

T8段。T0节段为预应力钢混节点段,T1为与系梁连接节段,T2~T8为桥面以上塔柱节段。T0节段长度为6.634m,其余塔柱节段长度7.2~8.4m(表1)。

2 工程特点及难点

富裕路沣河桥钢塔采用V字形结构,不但造型新颖美观,而且在结构方面减小了拉索跨度,增大了斜拉索与

收稿日期:2016-01-07

基金项目:陕西省交通运输厅项目(13-25k)

作者简介:王鹏禹(1962-),男,陕西西安人,教授级高工,主要从事桥梁结构受力分析方面的研究,(E-mail)wpy@cteb.com

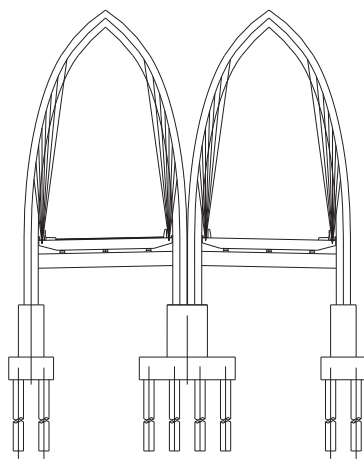


图3 大桥侧视图

表1 钢拱塔节段尺寸及数量表

序号	制造段	规格/mm	数量	单重/t
1	T0	2700 × 2800 × 6634	8	27
2	T1	2700 × 2800 × 8000	8	33.6
3	T2	2700 × 2800 × 8000	8	33.6
4	T3	2700 × 2800 × 8410	8	38.8
5	T4	2700 × 2800 × 8250	8	44.9
6	T5	2700 × 2800 × 7500	8	39
7	T6	2700 × 2800 × 7500	8	38.4
8	T7	2700 × 2800 × 7210	8	29.9
9	T8	2700 × 2800 × 4000	4	17.2

水平线的夹角,令整体结构以类似桁架的体系承载,利于充分发挥材料的能力。但倾斜的塔面施工难度较大,桥塔定位精度要求很高,而且桥塔和主梁的制造、安装都较复杂。钢塔安装的重点及难点主要体现在以下3方面:

(1) 桥塔节段空间定位复杂^[1-3]

传统的桥塔位于竖直平面,桥塔安装定位主要是考虑高程问题。本桥桥塔位于与竖直平面有一定角度的平面,因此桥塔的定位要考虑塔轴线的三维坐标(不同高程处平面位置不同),而且还要考虑截面的空间方位,桥塔节段定位复杂。

(2) 塔上锚固点定位难度大^[4]

斜拉索为空间布置,因此塔上锚箱与桥梁纵轴线、横轴线和竖轴线均有夹角,需要根据其空间方位准确定位。

(3) 桥塔受力空间变形^[5-6]

由于索塔位于斜平面内,索塔端面为拱形结构,而且拉索也是空间布置,在索塔自重和斜拉索索力作用下,桥塔的变形模式复杂。既有轴线压缩也有两个方向的弯曲,由于施工误差不可避免,桥塔还可能出现扭转变形。在制造和安装阶段,需预判这种空间变形,以满

足成桥线形、拉索安装精度要求。

鉴于此,本钢拱塔采用分段分块吊装法,通过550T履带吊对钢主塔各分块进行吊装。在施工中,要严格执行施工前与施工阶段的每一道工艺程序,检验每一道工艺程序的施工质量,才能把结构变形降低到最低限。

3 钢拱塔节段安装

3.1 吊装方案拟定

原设计推荐方案为“吊装支架安装法”^[7],即待钢箱梁施工完成后,在钢箱梁上安装支架,利用吊机将钢拱塔块吊装至支架后进行拼接安装。原设计方案计划工期为12个月,无法满足业主9个月的工期要求;且原设计方案中钢主塔支架租赁及施工费用较高(600万元)。

经方案比选、数值模拟,并且经权威专家论证,最终施工采用现场无支架原位拼装方案^[8-10],即钢拱塔与钢主梁现场同步施工,通过550T履带吊对钢主塔各分块进行吊装。为了保证施工过程的安全性,通过预拉S8、S5、S1水平索控制主塔的变形和内力,使得钢塔吊装与钢主梁顶推平行施工。在保证施工质量的前提下加快了工程进度,满足了工期要求,且实际施工过程中采用的无支架施工工艺费用低(280万元)。

3.2 总体施工方案

根据节段重量处于17.2 t~44.9 t之间,拱顶上缘距地面47.066 m,采用一台550T履带吊满足节段吊重、吊高及吊距的要求。550T履带吊最大主臂长度60 m,最大标准臂长度102 m。履带吊在现场施工时应将场地硬化,硬化长度为100 m,宽度为6 m,结构层为80 cm砖渣,砖渣共480 m³,为了保证履带吊安装精度,场地应用20 cmC₂O砼硬化,硬化方量为120 m³。

钢塔吊装过程中,采用S1、S5、S8永久索作为施工临时索,消除钢主塔在吊装过程中的非弹性变形,并且保证钢主塔拉索张拉至成桥索力后,钢主塔线性满足设计要求。施工基本流程为:塔脚底节安装→塔脚节段安装→吊装钢塔T0节段,浇筑主塔墩身砼→分别吊装钢塔T1、T2、T3节段→张拉S8水平索、浇筑主塔墩身砼→吊装T4节段→张拉S5水平索→吊装T5、T6节段→张拉S1水平索→吊装T7、T8节段→张拉水平索→张拉斜拉索,流程如图4~图11所示。

3.3 节段安装

由于钢塔的拼接线形倾斜,拼装存在一定的困难,为了减少钢塔在高空作业过程中调节难度,钢塔在安装

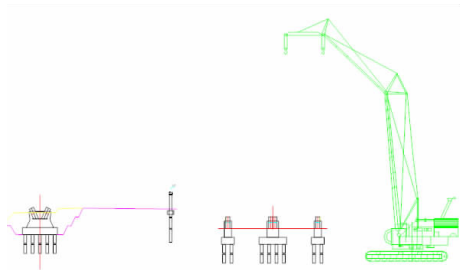


图 4 吊装钢塔 T0 节段

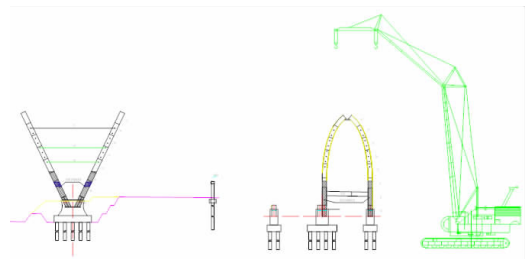


图 9 安装钢塔 T7 节段

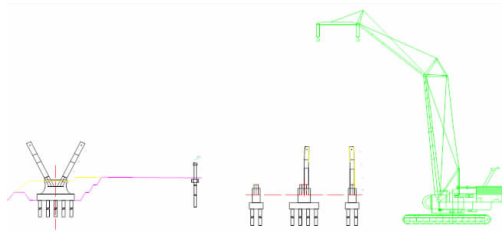


图 5 吊装钢塔 T1 ~ T3 节段

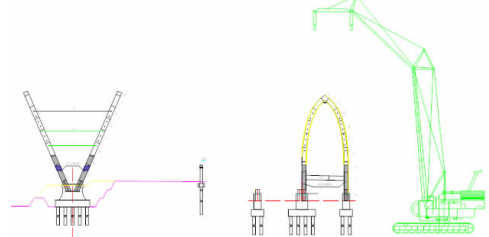


图 10 吊装合拢段 T8

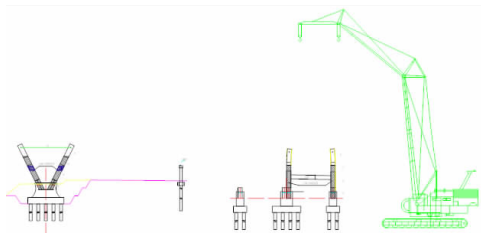


图 6 张拉 S8 水平索

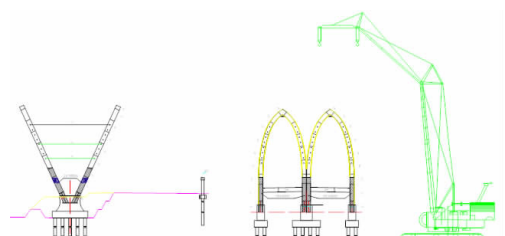


图 11 安装左幅钢主塔

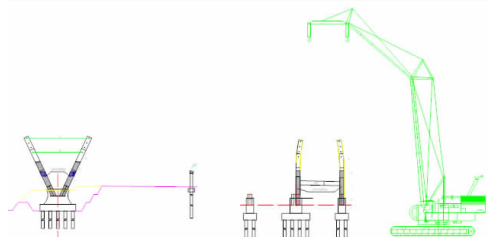


图 7 吊装 T4 节段、张拉 S5 水平索

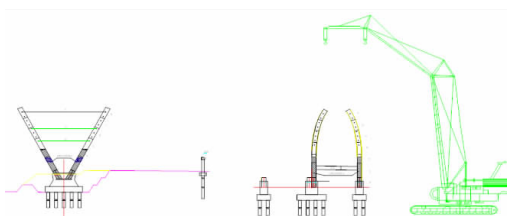


图 8 吊装 T5、T6 节段、张拉 S1 水平索

前先在地面处把钢塔高空安装的角度提前调节好,钢塔起吊到高空后只需放置并简单调节匹配,连接好匹配件即可。钢塔在起吊安装前,先安装好钢塔本体环缝焊接平台(临时焊接平台由 $\angle 10$ 角钢组成,钢塔节段的顶层钻孔,将平台支架用 $\phi 20$ 螺栓栓接其上),钢塔起吊后,

在已经安装完成的钢塔焊接平台上进行钢塔之间的匹配连接。其具体流程为:焊接平台安装→钢塔起吊→钢塔匹配连接→高栓初拧→环缝焊接→高栓终拧^[11-12]。

3.3.1 T0 节段安装

吊装钢塔 T0 节段,浇筑主塔墩身砼。由于钢塔设计线形为倾斜方向,重心偏移较大,为了防止钢塔在安放调节过程中以及在混凝土浇注过程中倾覆,在钢塔加工时焊接辅助支腿及钢塔之间平联,保证钢塔的稳定^[13-14](图 4)。

3.3.2 T1 ~ T3 节段安装

吊装右幅 T1 节段,由于 T1 节段吊装为悬臂吊装,且节段在纵向为倾斜状态,在重力作用下发生自然下扰,部分挠度在安装完 T3 节段后张拉永久临时索后平衡,但部分挠度无法平衡,此状态下需设置预偏值,预偏值需建立模型并通过统计节段实际重量经计算而得^[15]。预偏值确定的影响因素为:节段实际重量、最终成桥线性索力、斜拉索成桥索力及浇筑塔内砼的影响等,节段吊装到位后焊接,焊接完成后拧紧高强螺栓,高强螺栓扭矩应符合设计要求,经检验 T1 节段吊装合格后吊装

T2、T3 节段(图 5)。

3.3.3 S8 水平索张拉

T3 节段吊装完成并检验合格后,穿 S8 水平索,根据计算索力张拉 S8 水平索,索力考虑的因素有:节段强度、刚度及稳定性要求、钢主塔内浇筑砼因素及成桥最终索力。水平索张拉完成后安装系梁,浇筑塔内 C40 微膨胀砼,并且在浇筑过程中应随时观察水平索索力变化(图 6)。

3.3.4 吊装 T4 节段、张拉 S5 水平索

待塔内砼满足强度要求后,吊装 T4 节段,吊装前应该计算设置预偏值,预偏值考虑因素为与 T3、T2、T1 一致,T4 吊装完成并检验合格后,穿 S5 拉索,张拉 S5 水平索,张拉力经计算确定,张拉力确定因素与 S8 一致,S5 水平索位于横向曲线段,为了保证钢塔在张拉过程中不发生扭转变形,在张拉扭转应力较大区钢塔内部采用剪刀撑增加钢塔扭转刚度法加固,剪刀撑采用 40b 槽钢制作,为了减少钢塔焊接影响强度,支撑采用顶紧加固,保证支撑与钢塔为全断面接触(图 7)。

3.3.5 吊装 T5、T6 节段、张拉 S1 水平索

S5 水平索张拉完成,并将钢塔线性调整至设计位置后,安装 T5、T6 节段,T5、T6 节段安装时,应设置横纵向预偏值,保证钢塔成桥后线性,设置纵向预偏值确定因素需考虑:节段在自重下引起的纵向位移、S1 水平索临时张拉引起的纵向位移、所有水平索及斜拉索张拉至设计成桥索力后引起的钢塔的纵向位移等。设置横向预偏值确定因素需考虑:节段在自重下引起的横向位移,后期在 T7 节段安装后合拢前采用千斤顶调整合拢间距时发生的位移等,预偏值的确定需通过计算确定,T5、T6 安装完成并验收合格后,穿 S1 水平索并进行张拉,S1 水平索索力确定同 S5、S8。在 S1 张拉前用槽钢剪刀撑加固钢塔扭转刚度,确保钢塔在张拉时不发生扭转变形(图 8)。

3.3.6 吊装 T7、T8 节段

S1 张拉至临时索力值后并检查钢塔线性符合要求后,安装 T7 节段,T7 节段安装符合要求并验收合格后采用支撑横梁横向支撑钢塔,支撑与钢塔采用铰接型式连接,支撑与钢塔连接好后在横向位置采用液压千斤顶将钢塔调整至设计位置,保证合拢段的位置精确(图 9)。采用液压千斤顶将钢塔在横向及纵向位置达到合拢要求后,吊装合拢段 T8(图 10)。

3.3.7 安装左幅钢主塔

以同样的工序及工艺安装左幅钢主塔(图 11)。

3.3.8 张拉斜拉索

按照设计要求对斜拉索进行分次张拉,最终达到合理成桥状态。

4 结束语

富裕路沱河大桥钢拱塔节段吊装无支架施工方案的应用使得钢塔施工与钢箱梁顶推施工同时进行,缩短了 3 个月的施工工期,且钢拱塔节段安装工序节约了施工成本(约 270 万元)。桥梁得以在预定时间内顺利竣工。成桥后的沱河大桥通过荷载试验检测,各项指标均满足规范要求,并且取得了良好的社会效益和经济效益。富裕路沱河大桥钢拱塔节段吊装施工方案的顺利实施可为其他异形钢结构桥梁的节段吊装施工提供有益参考。

参考文献:

- [1] 胡正荣,汪跃武.独塔四索面空间异形斜拉桥施工控制技术分析[J].中外公路,2015(1):155-160.
- [2] 倪勇.广州珠江黄埔大桥斜拉桥主塔施工测量[J].世界桥梁,2007(4):25-27,69.
- [3] 侯筱婷,李昌华,鲁萍.钢结构吊装施工方案多目标模糊优选研究[J].西安建筑科技大学学报:自然科学版,2013(2):275-279,291.
- [4] 孙测世,李佑荣,胡勇,等.曲线斜拉桥锚固点与支座偏移设计的分块法[J].公路交通科技,2010(10):47-52.
- [5] 戴公连,李德建.浏阳河洪山大桥异形斜拉桥主梁空间受力及稳定性分析[J].中国公路学报,2002(3):55-58.
- [6] 王生武,项纯夫,李腾腾,等.异形独塔斜拉桥参数敏感性分析[J].公路工程,2015(1):137-142,147.
- [7] 刘华,傅学军,孙胜利.西山沟 II 号大桥连续箱梁支架施工技术[J].桥梁建设,2005(4):65-68.
- [8] 江越胜,陆树荣,严玉才.钢管混凝土系杆拱人行桥无支架安装设计关键技术探讨[J].公路,2011(6):77-81.
- [9] 刘镇东,刘山洪,李放.GRC 永久模板在桥梁悬臂现浇梁上的无支架施工[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2008(S1):895-897.
- [10] 罗斌,郭正兴,杨小飞,等.索桁架固定千斤顶斜向牵

- 引整体提升的无支架施工技术及全过程分析[J]. 建筑结构学报,2014(2):95-101.
- [11] 翟军.斜拉桥钢拱塔节段吊装法施工技术[J].北方交通,2014(3):4-6.
- [12] 张健,胡冲,隋杰明,等.顶推滑移法在钢结构桥梁安装工程中的应用[J].沈阳建筑大学学报:自然科学版,2007(5):764-767.
- [13] 谭红霞,陈政清,封周权.刚构-单肋拱组合桥梁的稳定性研究[J].振动与冲击,2008(12):122-125,184.
- [14] 雷宇,黎曦.大跨度组合梁斜拉桥全过程稳定性研究[J].公路交通科技,2009(10):71-75.
- [15] 刘海燕,陈开利,朱方一.日本新湊大桥桥塔、钢箱梁的制作与安装[J].世界桥梁,2014(5):1-7.

Lifting Construction Technology for Steel Arch Tower of “Petal Type” Special Shaped Cable Stayed Bridge

WANG Pengyu¹, LIU Xin¹, DU Shizhao², ZHENG Peng²

(1. Sinohydro Bureau 3 Co., Ltd., Xi'an 710016, China; 2. Key Laboratory of Shanxi Province for Highway Bridge & Tunnel, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: In order to study the rapid construction method of the special shaped steel structure bridge, taking the “petal” aliens cablestayed bridge Xi'an city rich road Fenghe bridge steel arch tower segment lifting construction as an example, through the key technologies of construction, such as the manufacturing of steel arch tower section, the hoisting of the steel arch tower, the tension of the horizontal cable and the stayed cable, this paper analyses the characteristics and difficulties of this project, compares the construction speed and construction cost of the original design scheme with this design scheme. The practice proves that the steel arch tower segment listing construction technology is faster, higher security and more applicable, at the same time, has good social benefit and economic benefit. The construction method can provide useful reference for the rapid construction of the same type of bridge.

Key words: special shape; cable stayed bridge; steel arch tower; segment listing; construction technology