

文章编号:1006-2106(2011)11-0077-05

马鞍山钢-混叠合塔施工技术研究^{*}

唐 勇 张瑞霞^{**}

(中铁大桥局集团有限公司, 武汉 430050)

摘要:研究目的:针对大跨度桥梁中主塔施工周期长、受力大等特点,结合马鞍山长江公路大桥 $2 \times 1\,080\text{ m}$ 三塔两跨悬索桥的中塔结构施工进行钢-混叠合塔的施工技术研究。

研究结论:通过优化混凝土配合比和工艺试验的研究,采用混凝土立柱的结构形式,既能较好的调整钢塔底节与混凝土面的位置,又能提供较好的空间振捣混凝土,顶部预留进行灌注压浆,保证了大面积钢混叠合段的密贴性和密实性。吊装工艺的优化、合理选择保证了下横梁与 T1、T2 间的精确定位,同时配备最大吨位的 $5\,200\text{ t} \cdot \text{m}$ 的塔吊使得钢塔吊装施工顺利实现"节段工厂化预制、现场拼装"的施工理念,缩短施工工期约 $1/3$ 。

关键词:钢-混叠合塔;叠合段施工技术;节段安装

中图分类号: [U24] **文献标识码:** A

Research on Construction Technology of Steel-concrete Coincided Tower of Maanshan Bridge

TANG Yong, ZHANG Rui-xia

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

Abstract: Research purposes: Aiming at the features of the long construction period and bearing heavy load of the main tower of the large-span bridge, the research is done on the construction technology of the steel-concrete coincided tower of the middle-tower structure of the $2 \times 1\,080\text{ m}$ three-tower and two-span suspension bridge of Maanshan Changjiang River bridge.

Research conclusions: Through optimizing the matching ratio of concrete and studying the engineering testing, the structural style of the concrete column was adopted. In this way, the position between the bottom segment of the steel tower and the concrete surface could be well adjusted and the rather big space could be provided for tamping the concrete. Also the grouting was conducted to the top part for ensuring the flatness and compactness of the mass steel-concrete coincided section. By optimizing and selecting the reasonable hoisting process, the precise positioning between the cross girder and T1, T2 was ensured while by using $5\,200\text{ t} \cdot \text{m}$ tower crane, the construction concept of the "segment being prefabricated in plant and assembled in site" was realized and the the construction period was shortened by $1/3$.

Key words: steel-concrete composite tower column; steel-concrete composite construction technology; segmental installation

随着现代桥梁跨度的不断加大,悬索桥和斜拉桥由于其跨越能力大而成为大跨度桥梁的主要选择桥

形。但随着桥梁跨度的不断加大,悬索桥和斜拉桥主塔结构的受力也不断增加,造成主塔结构十分庞大,传

^{*} 收稿日期:2011-09-16

^{**} 作者简介:唐勇,1979年出生,男,工程师;张瑞霞,1967年出生,女,教授级高级工程师。

统混凝土主塔的施工周期长,所占总工期比例大,极大地制约着全桥总工期。同时在三塔悬索桥结构中,中塔的刚度与其所分担的荷载成正比,在中塔结构中使用混凝土主塔往往会造成中塔主塔结构受力加大。钢结构主塔的出现很好地解决了主塔施工周期长的问题,采用钢结构桥塔实现了“节段工厂化预制、现场拼装”的施工理念,从而达到缩短桥塔施工时间,实现全桥施工工期缩短的目的。同时对于减小三塔悬索桥结构中中塔主塔的受力起到很好的效果。

1 概述

马鞍山长江公路大桥中塔采用钢-混凝土叠合塔,塔梁固接方式。塔柱为门式结构,由上、下塔柱、塔顶装饰段及上下横梁组成,其中下塔柱为预应力混凝土结构,上塔柱、塔顶装饰段及上、下横梁为钢结构。塔高为175.8 m,下塔柱高37.5 m,上塔柱高127.8 m,塔顶装饰段高10.5 m。塔柱间中心距:在塔柱顶处为35 m,承台顶处为43.5 m,斜率约1:39.6。下塔柱设计为预应力钢筋混凝土结构,下塔柱配有110束15.2-19普通高强度低松弛钢绞线束。中塔柱结构如图1所示。

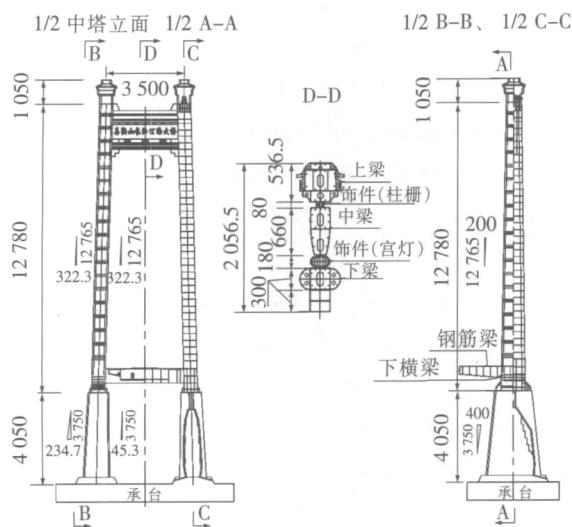


图1 中间钢-混凝土叠合塔总图(单位:cm)

上塔柱钢塔为单箱多室截面,分为T1~T21共2×21个节段,节段长从底部到顶分别为5.8 m、9.55 m、15×6.0 m、5.75 m、6.0 m、5.7 m和5.0 m等7种规格。节段间采用端面接触加高强螺栓拼接的混合连接方式,钢塔柱根部的压力主要通过钢塔柱底座板传递到混凝土下塔柱中,拉力则通过无粘结预应力钢绞线传递到混凝土下塔柱中。下塔柱配有110根15.2-37防腐无粘结预应力钢绞线束。

钢塔柱最大节段T1单节段重580.5 t,T2为424.5 t,T21为213.3 t,其它节段在163~200 t范围,钢塔为箱形结构,顺桥向底部宽11 m,顶宽7 m,横桥向均为6 m,双柱八字形变化,斜率为39.603:1。上横梁由上、中、下梁三部分组成,上梁重为303 t,中梁169.3 t,下梁重为160.2 t。上横梁与塔柱内伸出的两腹板采用高强螺栓拼接。

下横梁为塔、梁固结的一部分,梁高为中心6.5 m,横梁与钢塔柱间均采用高强螺栓拼接。

根据本桥中塔技术特点,其施工存在以下技术难点:

- (1) 超大面积钢混凝土叠合段的密贴性和密实性施工难题;
- (2) 下横梁与T1、T2节段安装定位问题;
- (3) 大节段钢塔的吊装定位问题。

2 超大面积钢混凝土叠合段的密贴性和密实性施工

图2为叠合段结构图,T1节段高5.8 m,底板平面尺寸为15.9 m×7.8 m,下塔柱顶平面尺寸为17.0 m×9.2 m,叠合段混凝土浇筑时,大部分面积均位于T1节段底座板下。

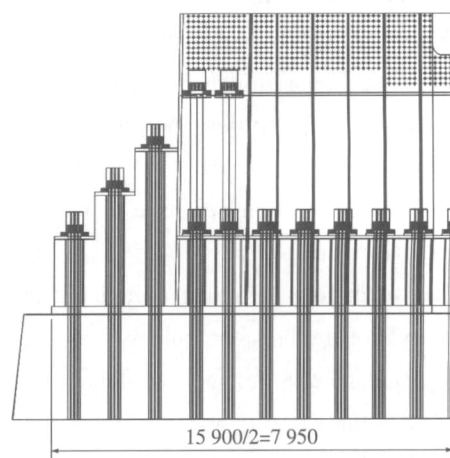


图2 叠合段结构图(单位:mm)

叠合段内有110束钢绞线钢管穿过,从上到下布置有7层钢筋,混凝土下料只能通过钢塔隔板上预留孔送入底座板下,振捣作业人员也只能通过隔板上预留孔进入,作业空间高度只有不到1.5 m,作业条件相对较差。

为方便混凝土布料,保证其与底板面密贴,T1底座板上开有下料孔、振捣孔、透气孔等大小不等的孔,如图3所示。为提高T1节段的受力稳定性,在T1节段下部对腔内进行混凝土填充,填充高度为1.45 m。

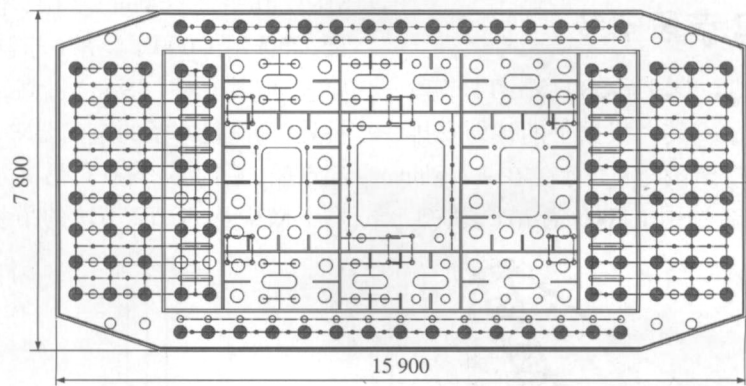


图 3 底座板开孔示意图(单位: mm)

钢混凝土叠合段采用无粘结预应力钢绞线束进行连接,结构较复杂,施工难度较大,其中安装定位架和 T1 段时的精确定位及超大底座板下后浇段混凝土的密实性等对施工工艺要求很高,由于底座板面积较大,且中间开有进入孔、锚孔、混凝土灌注孔、振捣孔、排气孔等,加工过程中如不能保证平整度,安装后则无法与定位架密贴,在混凝土施工中就易夹入砂浆(气体不易排出),因砂浆收缩而产生的空隙对底板下混凝土的受力将会产生影响。若对于后浇段采用压浆处理,由于 T1 底板孔洞太多,压浆是否能完全起到应有的作用难以预料。

钢混凝土叠合段施工中,因受力需要,底座板下混凝土需保证密实,施工存在一定的难度,考虑到施工的不可逆性,为了较好的满足底座板下混凝土密实性的要求,通过模拟塔柱钢混凝土叠合段做现场工艺试验,对混凝土的配合比及大面积混凝土与底板的密贴性问题的进一步研究决定采用六个 2 m 高混凝土立柱形式,首先施工混凝土立柱然后采用压浆方式施工柱顶预埋板,保证柱顶预埋板的标高和平整度。此方法对于千斤顶调节位置比较方便,有利于钢筋绑扎,方便混凝土的振捣。具体布置形式如图 4 所示。

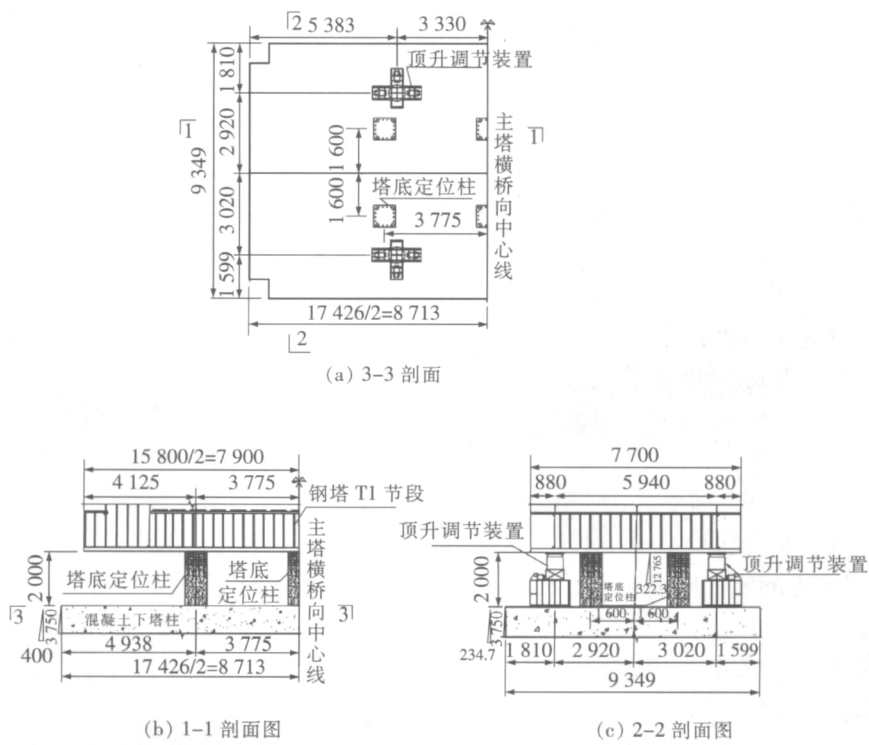


图 4 T1 节段与混凝土叠合段施工布置图(单位: mm)

3 下横梁及 T1、T2 节段安装

钢塔下横梁重 706 t, T1 节段重 580.5 t, T2 节段重 424.5 t, 均采用浮吊起吊安装。根据工期计划安排在安装钢塔下横梁及 T1、T2 节段时施工水位在 +2.5 m 左右。经过调研分析: 浮吊若选用 1 200 t 浮吊(镇航工

818), 其吊高(64 m)受限, 不能吊装 T2 节段和下横梁。若选用 1 000 t 浮吊(苏航工 858), 虽然吊高满足要求, 但其立柱(38 m)过高, 不能通过南京桥到达本桥处。为满足本桥的施工要求, 本公司自行研制 1 000 t 起重船, 主钩 2×500 t, 吊高水面以上 70 m 以满足钢塔下横梁及 T1、T2 节段的吊装, 吊装布置如图 5 所示。

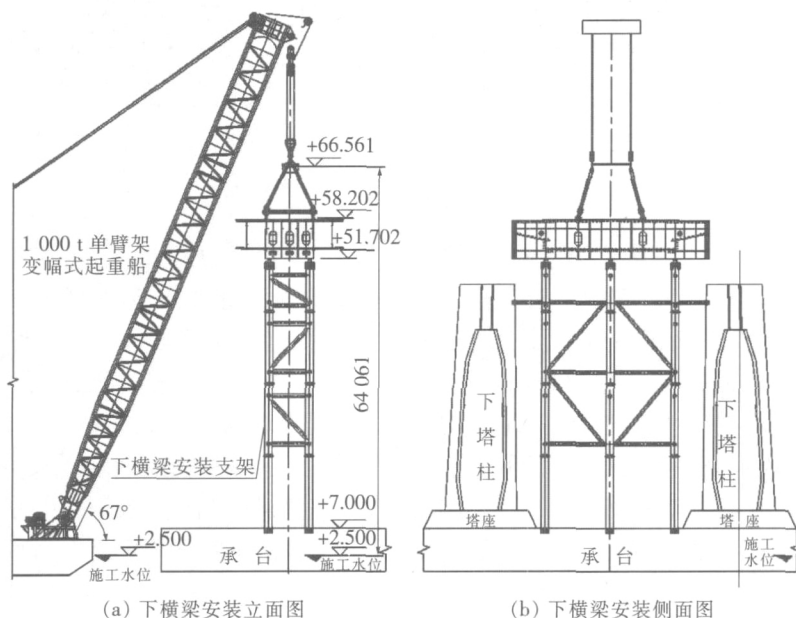


图5 下横梁吊装布置图(尺寸单位: mm)

3.1 方案一

考虑钢塔有一定的倾斜度, T1、T2 安装后下横梁安装困难。将下横梁首先吊到支架上存放, 再吊装 T1、T2, 然后将下横梁与塔柱连接, 最后来进行叠合段施工的方案。但此方案存在以下问题。

3.1.1 下横梁与塔柱连接后的相互影响 当下横梁与塔柱连接后, 拆除下横梁下支撑顶, 支撑全部依靠 T1 下钢筋混凝土立柱承担, 变形控制难度大, 对结构变形引起的影响难以定量说明。若横梁下支架不拆除, 受温差影响, 将对下横梁造成影响, 也将对 T1、T2 产生影响。

3.1.2 叠合段施工的难度较大 当 T1、T2 安装后再浇筑叠合段混凝土, 因 T1、T2 高度达 15.35 m (T1 高 5.8 m, T2 高 9.55 m), 叠合段混凝土下料困难, 人员操作空间狭小, 对混凝土的施工质量控制不利。

3.2 方案二

从保证结构安全, 减少安装变形、便于现场施工的角度出发, 采用方案二。

3.2.1 安装落地支架 上设调节装置, 竖向顶安装位置及设计顶力保证下横梁与塔柱连接面不产生转角, 以避免塔柱与横梁连接后出现安装应力。

3.2.2 在下塔柱 T1 下支撑立柱施工完成并检查高程、平面位置合格后, 吊装下横梁到支架上, 初步调整平面位置。

3.2.3 吊装 T1 节段并精确定位 通过六个对位线定位柱检查 T1 定位质量, 检查两个塔柱段、横梁的相对位置, 再与下立柱固定, 撤除调位用千斤顶。

3.2.4 浇筑叠合段混凝土 浇筑过程中对 T1 的平面、高程进行监控。

3.2.5 吊装 T2 节段与 T1 连接 后将下横梁与塔柱连接, 撤除下横梁调位装置, 使下横梁与支架脱离。将原设计调整接头 J1 移至 T2 与 T3 段间即 J2 接头设计为调整接头, 可以在此将塔柱及下横梁安装后的安装误差进行一次调整, 保证钢塔的安装精度。

故采取先将下横梁吊装到位后, 再吊装 T1 节段, 考虑现场施工方便, 先浇筑 2 m 后浇段, 然后再吊装 T2, 最后下横梁、T1、T2 节段用高强螺栓连接。

4 T3 - T21 大节段安装

塔柱和横梁安装属高空作业, 起吊机械、吊具等设备对安全、精确、快速的完成吊装工作起到决定性作用, 同时也是本桥节段划分方案的实现基础。

T3 - T21 节段重量在 123.5 ~ 213.3 t, 塔柱节段重量在最底节和最顶节最重, 通过经济性比选和钢塔施工的特点研制一台国内外最大吨位塔吊 D5200 吊装。塔吊参数为: 起重力矩为 5 200 t · m, 最大吊重为 t21 节段, 重 213.3 t, 考虑吊具和 100 m 以上钢丝绳的重量, 最大吊重 235 t, 最大吊重时吊幅 22 m, 最大起升高度为 200 m。塔吊的节段安装位置布置如图 6 所示。

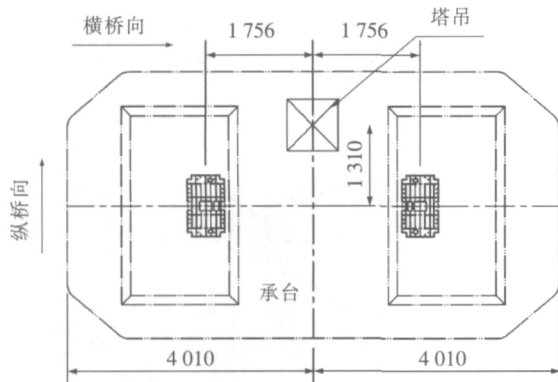


图 6 D5200 塔吊布置图(单位: cm)

5 结论

马鞍山中塔钢塔的施工通过对工艺试验的研究, 解决了大面积钢混凝土叠合段的密贴性和密实性问题, 吊装工艺的合理选择使得钢塔的吊装施工顺利实现“节

段工厂化预制、现场拼装”的施工理念, 缩短了施工工期。同时能满足中塔受力较大的钢塔的吊装施工技术为桥梁建设提供了更多的选择空间, 也为今后钢塔结构的设计、安装提供了借鉴的经验。

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] 戴书学. 泰州长江公路大桥钢塔吊装施工[J]. 中国港湾建设 2011(4): 51—54.
Dai Shuxue. Hoisting Construction for Steel Pillar of Taizhou Yangtze River Highway Bridge[J]. China Harbour Engineering 2011(4): 51—54.
- [4] 刘琼, 黄彩萍, 等. 斜拉桥箱梁钢 - 混凝土结合段受力的实验研究[J]. 铁道工程学报 2009(9): 46—49.
Liu Qiong, Huang Caiping, etc. Experimental Research on the Load Carrying Performance of Steel - concrete Junction in Box Girder of Cable - stayed Bridge[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2009(9): 46—49.
- [5] GB/T 714—2008, 桥梁用结构钢[S].
GB/T 714—2008, Structural Steel for Bridge[S].

(上接第 45 页)

- Wang Yuxia, Xu Botao. Application and Research for Determining Coefficient of Consolidation of Soft Clay [J]. Geotechnical Engineering Technique, 2010(5): 217—220.
- [7] 赵维炳, 刘家豪, 高长胜. 排水固结加固软基技术指南 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
Zhao Weibing, Liu Jiahao, Gao Changsheng. Technical Guidelines for Soft foundation Improved by Drainage Consolidation [M]. Beijing: China Communications Press, 2005.
- [8] 王祥, 李小明, 周顺华. 真空联合堆载预压处理高速铁路软土地基效果检验 [J]. 铁道工程学报, 2008(12): 45—49.
Wang Xiang, Li Xiaohe, Zhou Shunhua. Effect of Treating Soft Soil Foundation of High-speed Railway with Vacuum - mound Preloading Method [J]. Journal of Railway Engineering Society 2008(12): 45—49.
- [9] 南京水利科学研究院土工所. 土工试验技术手册 [K].

北京: 人民交通出版社, 2003.

- Getechnical Engineering Department of Nanjing Hydraulic Research Institute. Guidelines for Geotechnical Testing Technology [K]. Beijing: China Communications Press 2003.
- [10] 魏汝龙. 软粘土的强度与变形 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1987.
Wei Rulong. Strength and Deformation of Soft clay [M]. Beijing: China Communications Press, 1987.
- [11] 钱家欢. 土力学 [M]. 南京: 河海大学出版社, 1988.
Qian Jiahuan. Soil Mechanics [M]. Nanjing: Hohai University Press, 1988.
- [12] 林孔镏. 预压地基的强度增长与稳定计算问题 [J]. 岩土工程学报, 1998(1): 93—96.
Lin Kongzi. Strength Increase and Stability Analysis of Preloading Foundation [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1998(1): 93—96.