

金汇港斜拉桥异型主塔钢混结合段施工技术

雷真

(上海奉贤建设发展集团市政公路工程有限公司,上海市 201499)

摘要:以金汇港斜拉桥为例,针对其异型主塔钢混结合段定位、吊装和混凝土浇筑的重难点施工技术,从定位支撑设计、精准吊装就位、钢筋和预应力钢束施工控制、混凝土施工工艺等方面提出对应的措施,为同类工程的施工提供经验参考。

关键词:斜拉桥;钢混结合段;剪力钉;定位支撑;自密实混凝土

中图分类号: U445

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)02-0130-04

0 引言

异型斜拉桥钢结构主塔基础一般由混凝土制成,在钢塔柱与钢筋混凝土结构基础之间设钢混结合段^[1]。钢混结合段的作用是将钢塔荷载向混凝土中传递,保证主塔的钢结构部分与混凝土下墩柱之间刚度过渡的均匀性和作用力传递的顺畅性,避免产生应力集中和折角,确保桥梁的安全和耐久^[2]。

在异型斜拉桥施工中,其主塔的施工是关键。钢混结合段为钢材与混凝土两种不同材料的结合部位,其定位和施工对整个主塔的线型、质量以及桥梁结构的整体受力性能有至关重要的影响,因为混凝土与钢材的物理特性差别较大,再加上异型斜拉桥主塔的造型奇特新颖,所以在实际工程中,异型主塔钢混结合段的施工存在很大困难^[3,4]。本文以金汇港斜拉桥为例,在斜拉桥异型主塔钢混结合段的定位、吊装和浇筑等施工技术方面进行简单探讨。

1 工程概况

1.1 工程概况

金汇港斜拉桥是上海市奉贤区海湾镇一座横跨金汇港的双索面异型钢混独塔斜拉桥,是奉贤区海湾旅游区规划“三纵四横”主干路网格局,呈东西走向。主桥长度220 m,跨径布置为145 m+75 m,桥宽33.6 m,墩、塔、梁固结,一跨过河,是金汇港出海口处的一座大桥,主塔造型为风帆形状,寓意“扬帆出海”。

金汇港斜拉桥主塔为不规则扇形结构,塔柱向内倾斜 3.18° ,为保证塔柱横桥向稳定性,在其外侧设置斜撑。塔柱由顶部至底部逐渐变宽,总高73.5 m,下塔柱为实心混凝土,混凝土强度等级为C50,上塔柱为钢塔,塔柱和斜撑均设有钢混结合段。金汇港斜拉桥立面布置见图1。

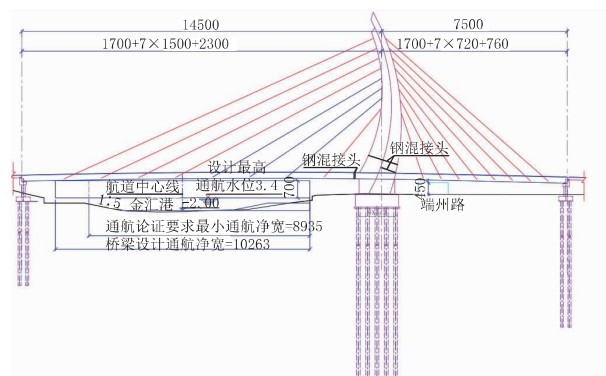


图1 金汇港斜拉桥立面布置图(单位:cm)

1.2 钢混结合段构造概况

金汇港斜拉桥主塔塔柱及斜撑共分18个构件,9种类型,类型编号为T0~T8,每个构件分2~5个吊装节段不等,每个节段高度2.2~5.1 m不等,最大钢节段重量为55.5 t。T0和T8构件含有钢混结合节段,其余构件由普通钢结构节段组成,各节段之间均采用焊接连接。塔柱和斜撑结构分段见图2。

本工程塔柱钢混结合段纵桥向长度12.25 m,横桥向宽度3.0 m,高2.02 m,斜撑钢混结合段纵桥向长度6.5 m,横桥向宽度2.5 m,高1.5 m,两者断面均采用箱型截面。钢混结合段采用顶部设置承压钢板和壁板布置剪力钉的形式,塔柱结合段顶部为50 mm厚承压板,斜撑结合段顶部为30 mm厚承压板,塔柱和斜撑的壁板深入混凝土基座一定长度,在壁板上布

收稿日期:2020-12-24

作者简介:雷真(1995—),男,学士,助理工程师,从事路桥建设管理工作。

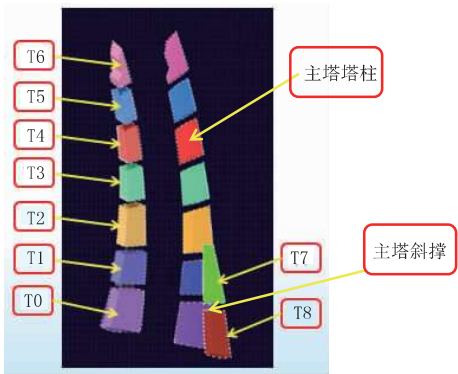


图2 主塔和斜撑结构分段示意图

置剪力钉,以用于扩散应力并增加延性,剪力钉型号M22×200。

本工程钢混结合段内部有中隔板和加筋,并设置竖向预应力钢束,底端埋入混凝土基座或承台内,上端锚固在承压钢板上的锚固构造上。预应力钢束为9-Φ^s15.2规格的钢绞线,单侧塔柱有34束,单侧斜撑有18束。钢混结合段三维模型见图3,预应力锚固端布置见图4。

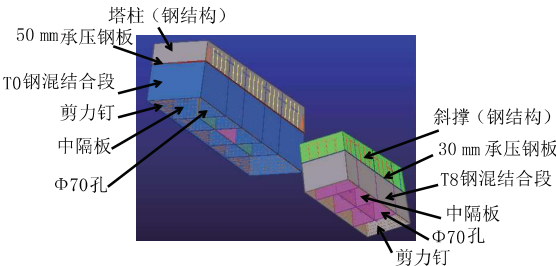


图3 钢混结合段三维模型图

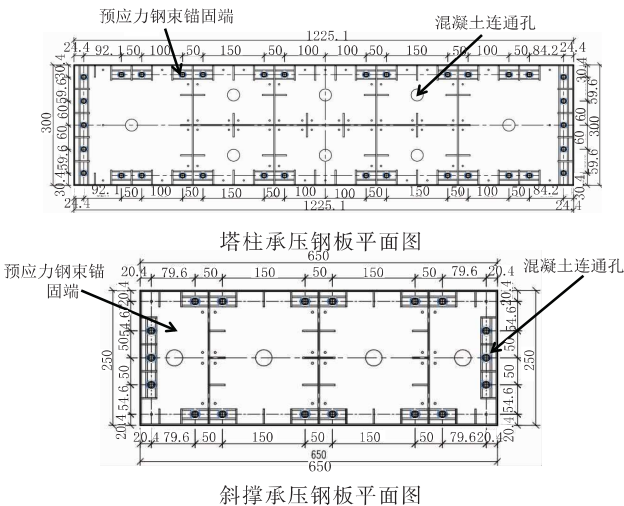


图4 预应力锚固端布置平面图(单位:cm)

2 钢混结合段施工技术重难点分析

2.1 设计定位支撑

本工程钢混结合段是59.5 m高钢塔柱安装的基础,其定位是主塔塔柱和斜撑施工成败的关键。为了保证起始段的定位精度,需要设计定位支撑解决

钢混结合段的固定,关于定位支撑的要求有如下三点:

- (1)支撑自身的强度、刚度、稳定性等性质参数要满足规范和施工要求;
- (2)可以对高程、横向、纵向进行细微调整;
- (3)可以满足对钢塔柱和钢斜撑首节进行临时固定的要求。

钢混结合段塔柱截面小,内部壁板设有剪力钉,并有钢筋和预应力钢束等布置,构造及其复杂,定位支撑的设计与安装受到多方面条件制约。

2.2 如何精准吊装就位

钢混结合段的安装精度对整个主塔的线型和质量以及斜拉索锚管的定位精度都有着至关重要的影响,尤其本工程不规则扇形结构的异型主塔,对于空间精度的要求更加苛刻。塔柱的钢结构节段,在工厂内加工制作好后,运至现场进行场地内拼装和吊装,它的空间位置不可以逐段调节。所以,钢混结合段作为整个钢塔柱的基础节段,其对安装空间角度和位置的精度要求非常高。因此,采取一套科学有效、精确度高的测量和吊装施工工艺显得非常重要。

2.3 钢筋和预应力钢束施工

本工程塔柱钢混结合段分8个格室,斜撑钢混结合段分4个格室,格室内剪力钉密布,并且混凝土塔段的竖向主筋要插入钢混结合段,格室内又填充有加筋及竖向预应力孔道,作业空间小、环境差、操作不便,保证钢筋位置准确、顺利插入剪力钉空隙和中隔板开孔而不会被卡住,保证预应力钢束顺利穿过钢混结合段的预留孔,是施工时的难题之一。

2.4 混凝土施工

本工程塔柱和斜撑的钢混结合段填充混凝土采用C50混凝土,强度等级较高。而且,钢混结合段箱体格室内钢筋密布,并且还有预应力管道,作业人员无法进入格室振捣,如何确保结合段内混凝土可以浇捣密实进而可以保证后期成型质量,需要采取合理的施工工艺以及配置高性能高流动性混凝土来解决。

3 针对施工技术重难点的对应措施

3.1 定位支撑设计

钢塔的钢混结合段分别位于T0、T8两段,采用后张法施工,需要先将钢混结合段固定在指定位置,然后进行混凝土灌注施工,所以必须设置定位支撑,并且对钢混结合段的支撑进行设计与计算。

(1)定位支撑结构设计

设计采用 H 型钢作定位支撑立柱, 截面选 HW300 × 300 型钢, 立柱上端下端用横梁相连, 中间作十字撑, 保证其刚度和稳定性, 且作为永久支架与塔柱一同浇筑混凝土。

在主塔混凝土承台及斜撑承台中预设埋件, 共 36 个。T0 钢混结合段下端设 10 根 H 型钢立柱支撑, 柱间横梁和十字撑用 2C32a 双槽钢, 支撑胎架直接落在桥面上, 下端与桥面的埋件焊接, 上端与结合段段安装高度及角度一致。T8 钢混结合段下端设 8 根 H 型钢立柱支撑, 柱间横梁和支撑用 2C16a 双槽钢, T8 结合段距离地面距离较高, 需采用两次浇筑法施工, 第一层浇筑 6.0 m, 与水平面平行后立竖向定位支撑。定位支撑顶端空出 50 mm 的空间作为高程调整段, 弥补在吊装过程中定位支撑架发生变形而产生的高程偏差。定位支撑三维模型见图 5。

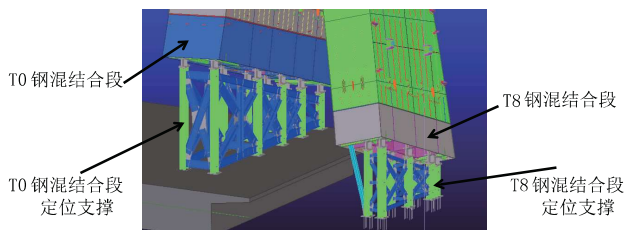


图 5 塔柱和斜撑钢混结合段定位支撑三维模型图

(2) 定位支撑结构计算

通过建立有限元受力模型, 分别计算 T0、T8 钢混结合段定位支撑的受力和变形情况, 计算结果显示, 定位支撑的应力比、支撑位移和支撑反力均能够满足规范要求 and 施工需要。具体结果见图 6 和图 7。

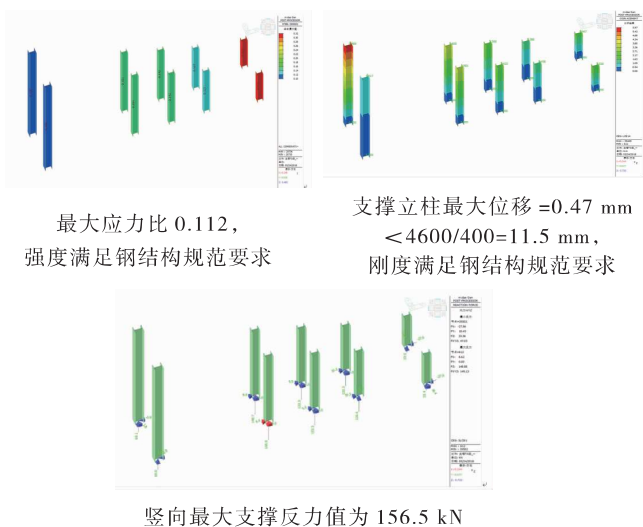


图 6 塔柱钢混结合段定位支撑受力分析结果

3.2 精准吊装就位

钢混结合段箱体在工厂加工时, T0、T8 节段底部各焊接 4 块定位钢板, 与定位支撑顶部的 4 个限位板一一对应, 用以引导结合段粗就位。每块钢板上

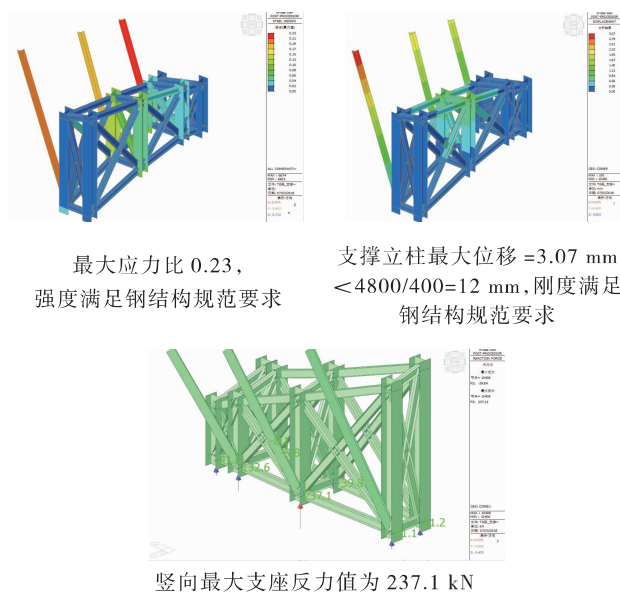


图 7 斜撑钢混结合段定位支撑受力分析结果

有 3 个 $\Phi 32$ mm 螺栓孔和 1 个 $\Phi 52$ mm 销轴孔, 分别安装 M30 螺栓和 $\Phi 50$ 变径销轴。

钢混结合段吊装时, 在吊装钢丝绳上设置手拉葫芦调整节段的空中姿态, 下放时, 变径销轴起到粗就位导向作用。钢混结合段落于支撑上, 采用钢板抄垫用作高程微调, 高程和轴线检查合格后上螺栓锁定。同时利用全站仪, 在结合段四个面的中心处设置主观测点, 四个角处设置辅助观测点, 用以对结合段精确调整。

3.3 钢筋和预应力钢束施工控制

钢混结合段吊装定位完成后, 进行箱体内部钢筋绑扎和预应力钢束安装。伸入钢混结合段剪力钉之间的钢筋, 为保证钢混结合段安装就位时能够不被卡主顺利下放, 施工时只设置一半的竖向钢筋, 另外一半竖向钢筋在钢混结合段安装就位后在箱体内进行机械连接。格室内的加筋在穿孔时, 要做到做到钢筋直径、根数、安装位置、搭接长度与设计要求的符合。

将塔柱钢混结合段 T0 的 34 束预应力钢束和斜撑钢混结合段 T8 的 18 束预应力钢束在浇筑前从 T0 和 T8 承压钢板的下方穿入锚孔内固定, 分别将每束 9 根钢绞线穿入锚板, 用单根张拉千斤顶将钢绞线收紧 (压力不大于额定张拉压力的 10%), 使每根钢绞线呈直线状态。

3.4 混凝土施工工艺

为保证本工程钢混结合段浇筑密实、防止钢混结合段混凝土在施工和使用阶段脱黏与开裂, 在对类似施工案例、实验室试拌比选后, 最终确定采用自密实混凝土, 浇筑过程中辅以振捣棒、钢筋和木棒

等工具适量振捣的浇筑工艺。

(1)自密实混凝土配合比

自密实混凝土的性能受原材料影响显著,选材时要比普通混凝土的选材更严格。在选用原材料时,严格控制砂石骨料粒径、含泥量、级配,提高和易性、穿透性。选择需水比低的优质粉煤灰,提高混凝土的流变性能,掺加硅粉提高新拌混凝土稳定性。在配合比设计时,提高胶凝材料总量,使混凝土内具有足够的润滑层和可流动组分,降低混凝土的内部摩擦力,让混凝土有更优的流变性能,并且选用高保坍高性能的减水剂,降低用水量,增加和易性,同时降低混凝土工作性能的损失速度^[5,6]。

本工程自密实混凝土配合比见表1。

表1 钢混结合段C50高性能自密实混凝土配合比

材料名称	水泥	矿渣微粉	粉煤灰	水	砂	石子	外加剂
配合比	1.00	0.24	0.22	0.30	1.33	1.73	0.01
材料用量/ (kg·m ⁻³)	300	130	120	165	730	950	7.70

(2)混凝土浇筑

钢混结合段混凝土从结合面的连通孔挂串筒下料,通过各层间串筒流入整个箱体中。在每一连通孔上加焊长30~50cm钢管,使混凝土液面高于该区域内混凝土液面。当浇筑至结合面最低端时,将最低处灌注孔及出气孔封堵,用钢板将孔口盖上、焊牢。按此方法依次封堵灌注孔及出气孔,直至最高处出气孔有混凝土流出。

浇筑时委派专人对曲面、斜角等太过狭小的部位用振捣棒单独振捣,对于部分空间狭小、振捣棒无法振捣的区域,需要人工钢筋插捣及木锤敲击模板振捣来保证混凝土的密实。

(3)混凝土养护

由于钢混结合段混凝土浇筑时间正值夏季,温

度较高,再加上混凝土强度较高,钢格室散热性能差。为降低水化热,根据钢混结合段的构造特点和混凝土内部温度分布特征,在各箱室设置一个冷却水管,选用Φ50mm铁管,每隔1.2m布置一层,每基数层连接相通,偶数层连接相通,

在浇筑完成后,尽快对其覆盖薄膜并洒水养护,时间不少于7d。待混凝土初凝后开始通水冷却,24h不间断。每天用测温计测量各层出水口的水温,由于出水口的水温低于该层冷却水管混凝土的温度,故在出水口水温与室外温度相近后,还需再通水降温1~2d后方可停止通水。

4 结 语

随着社会大众对桥梁造型的要求不断提高,设计、施工技术的不断进步,钢结构在大型桥梁上的应用会越来越广泛,形状新颖的异型钢混主塔斜拉桥也会越来越多的出现。钢混结合段是钢塔与混凝土墩柱之间的过渡段,是主塔施工的关键环节。本文介绍的金汇港斜拉桥塔柱和斜撑钢混结合段施工的技术措施,对异型钢混主塔斜拉桥主塔的钢混结合段施工工艺做丰富和改进,为类似工程的施工提供经验参考。

参考文献:

[1] 郑文飞,赵果,赵锐,等.斜拉桥水滴形主塔钢混结合段施工技术[J].河南科技学院学报(自然科学版),2015,43(2):71-75.
[2] 赵果,焦燊烽,梁斌,等.斜拉桥异形主塔钢混结合段自密实混凝土配合比研究[J].混凝土,2016(8):110-113.
[3] 张年杰.太原市火炬桥钢塔施工技术[J].建筑施工,2010,32(4):357-359.
[4] 张跃.异形高耸塔柱钢混结合段施工技术[J].城市道桥与防洪,2016(6):205-208.
[5] 孙锐,叶燕华,汪恒,等.自密实混凝土及其在叠合剪力墙中的应用[J].南京工业大学学报(自然科学版),2014,36(2):118-122.
[6] 蒋文.自密实混凝土施工技术及质量控制要点研究[J].科技创新导报,2018,15(30):8-9.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com