

龙潭过江通道南主塔施工技术

刘益锋

(中交第二航务工程局有限公司, 湖北 武汉 430014)

摘 要: 龙潭过江通道为主跨 1560m 单跨吊钢箱梁悬索桥+100m 简支钢箱梁悬索桥, 南塔采用 C55 钢筋混凝土门式塔柱, 塔高 237.5 m, 设上、下两道横梁。塔柱采用部品化钢筋制作和一体化筑塔机(集钢筋部品调位、自动布料、双层智能养护和爬升自动倒换)施工。钢筋部品化施工时, 分片预制、分节组装、整体安装。起步段(2~5 节段, 共计 24m)采用翻模法施工, 然后在起步段安装一体化筑塔机; 筑塔机试拼装合格后, 利用 3600t·m 塔吊进行钢筋整体吊装, 依靠筑塔机进行塔柱节段混凝土自动化浇筑和智能养护施工; 然后筑塔机爬升至下一节段施工, 依次完成 6~42 号节段塔柱钢筋混凝土流水施工。

关键词: 钢箱梁悬索桥; 门式塔柱; 钢筋网片柔性制作; 一体化智能筑塔机; 智能养护

中图分类号: U445 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 10—0124—03

基于塔柱施工移动式工厂的建设理念, 针对传统施工设备存在的问题, 本文以龙潭过江通道项目为依托, 开发了一种具有混凝土自动辅助布料、双层智能养护、自动拆合模、爬升自动倒换和全封闭作业功能的一体化智能筑塔机, 实现精细化、工厂化建造条件, 从而提高建造品质、提升施工效率、保证施工安全。

1 工程概况

龙潭过江通道跨江主桥采用主跨 1560m 单跨吊钢箱梁悬索桥+100m 简支钢箱梁跨江南长江大堤, 按双向六车道高速公路标准建设, 设计时速 100 公里/小时。索塔为钢筋混凝土塔, 横向为门式框架结构, 设置有上下两道横梁, 塔身底高程为 +8m, 顶高程为 +245.5m, 塔底设有 4.0m 塔座, 塔高 237.5m。南索塔塔柱顺桥方向宽度由塔顶的 10m 直线变化至塔底的 12m, 顺桥方向侧面斜率为 1/237.5。横桥向由塔顶的 7m 直线变化至塔底的 9m, 外侧面斜率为 1/37.549, 内侧面斜率为 1/54.913。塔柱采用矩形箱截面, 结合大桥塔柱景观效果与涡振性能改善, 将塔柱四角进行倒角截面钝化, 桥塔外侧倒圆角 $R=1.5\text{m}$, 内侧切角尺寸为 $2\text{m} \times 0.5\text{m}$ 。

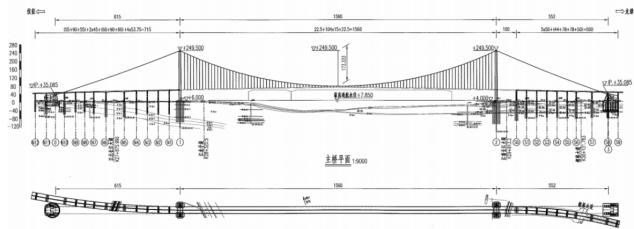


图1 龙潭过江通道主桥平、立面布置图

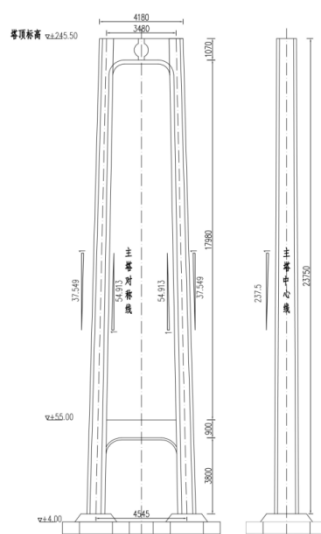


图2 南塔总体设计构造图

2 总体施工工艺

塔柱竖向分为 42 个节段, 起步段(1~5 节段, 共计 24m)采用翻模法施工, 标准段(6~42 节)采用一体化筑塔机施工, 根据节段钢筋重量及塔吊起重情况, 1~6 节钢筋则利用劲性骨架在现场进行安装, 7~9 节段使用钢筋网片进行安装, 作为施工过渡段, 10~42 节塔柱采用钢筋部品化施工; 上下横梁钢筋在钢筋集配中心进行加工, 运输至现场散拼安装; 上、下横梁与塔柱均采用异步法施工, 下横梁采用落地钢管支架施工, 上横梁采用牛腿托架支撑进行施工。

3 塔柱施工关键技术

3.1 钢筋施工

塔柱钢筋施工时采用工厂内钢筋网片机械化绑扎

或焊接成型、钢筋网片吊装或网片拼装成钢筋部品整体吊装上塔对接安装的新工艺，钢筋节段安装高度同塔柱施工节段划分相同，分段为6m进行安装。

3.1.1 钢筋网片制作

先将C型钢筋网片平面展开，通过生产线无人布料与自动焊接，加工制造扇形平面钢筋网片；再利用相关设备及工装对网片进行弯折。

3.1.2 钢筋部品安装

钢筋网片运输至前场后，通过履带吊将网片分片吊入拼装胎架，在吊装过程中需注意吊装顺序，由于塔柱截面主筋外围分布两层，内侧分布一层，为便于部品拼装，在吊装钢筋网片时，先安装内侧网片，待对接成笼后再吊装外围两层钢筋的内层网片，最后吊装最外层网片，网片对接完成后穿插拉钩筋。



图3 钢筋网片现场组拼

主筋对接采用锥形挤压锁紧接头连接，锥套锁紧接头的连接件由2个锥套、多个锁片和1个保持架组成，通过安装锁片并套入锥套对接上下主筋，再利用特制的液压钳和小型超高压液压泵站针对锥套式钢筋接头进行挤压作业，挤压时上下两个锥套的端面接触到保持架时即可停止。

3.2 筑塔机施工桥塔

3.2.1 筑塔机设计

(1) 总体设计。一体化智能筑塔机具有混凝土自动辅助布料、双层智能养护、自动拆合模、爬升自动切换和全封闭作业功能的一体化智能筑塔机，实现精细化、工厂化建造条件，从而提高建造品质、提升施工效率、保证施工安全。

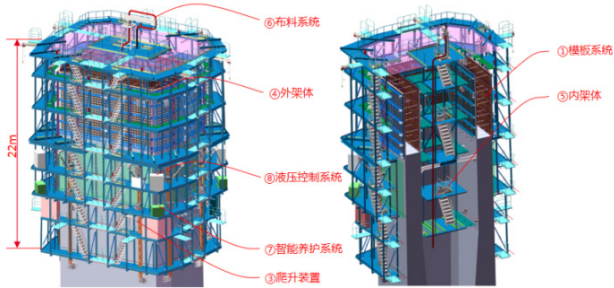


图4 一体化筑塔机总体构造图

(2) 模板及预埋系统。筑塔机模板系统包含内、外模板和对拉体系，主要用于混凝土浇筑。根据模板和钢筋部品结构形式，预埋件系统设置在圆弧和拐角两侧，单塔肢共布置8组，每组包含4套预埋件。

(3) 爬升装置。爬升装置主要包含：锚靴、安全销、轨道、平衡梁、斜撑、上爬箱、顶升油缸、调整油缸和下爬箱等，通过上、下爬箱在轨道上交互滑动实现架体和轨道的自动爬升。

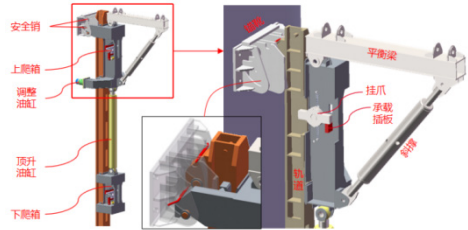


图5 筑塔机爬升装置模型图

(4) 内、外体架。外架体是筑塔机操作平台和外模的主要支撑结构；外架体设置8层操作平台，包括全封闭遮护层、钢筋操作层、模板操作层、混凝土养护层和修饰层。内架体是布料系统和内模的支撑结构，包括布料层、模板操作层、修饰及埋件拆除层、永久爬梯安装层；顶部安装一台布料机，实现自动布料。

3.2.2 筑塔机施工工艺

该桥塔柱底部5个节段采用支架法施工，其余节段利用筑塔机进行部品化施工。在1~5号节段施工过程中提前埋设好预埋件、安装筑塔机爬升轨道、拼装筑塔机；然后进行6~48号节段塔柱施工。塔柱施工主要步骤如下：

(1) 浇筑前5节段混凝土(24m)，安装3#、4#、5#节段锚靴，在3#节段上安装爬升装置和第一~五层平台，在4#节段上安装外模系统和第六~八层平台，第三~四层平台安装养护系统。

(2) 爬升外模系统至5#节段，安装6#节段劲性骨架，开始绑扎6#节段钢筋。然后爬升外模系统至6#节段，安装内体架系统。完善筑塔机附属结构，安装6#节段预埋件，合模浇筑混凝土。

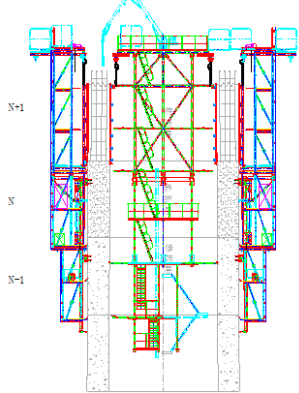


图6 筑塔机爬升装置模型图

(3) 安装 7# 号节段塔柱部品钢筋, 拆除 6# 节段内外模板系统并安装内、外架体锚靴, 通过塔吊提升内架体至 6# 节段, 爬升外架体至 6# 节段, 安装 6# 节段塔柱养护系统, 浇筑 7# 号节段塔柱混凝土。重复以上步骤, 完成剩余节段施工。

(4) 养护系统可确保每天 24 小时不间断养护, 以确保能保持混凝土表面经常处于湿润状态为度, 养护时间不少于 7d, 避免了人为因素导致的养护不及时、不彻底, 造成塔柱混凝土开裂。

3.2.3 筑塔机主要创新点

(1) 布料和遮护系统。一体式筑塔机在顶面设置布料系统, 布料系统设置于内腔支架顶部, 采用自动布料机实现全覆盖布料, 有效提高施工效率。为提高雨季和夏季施工效率, 在筑塔机顶部内架体与外架体之间采用伸缩式遮护篷布, 与外架体围护系统形成封闭的工厂化作业环境。

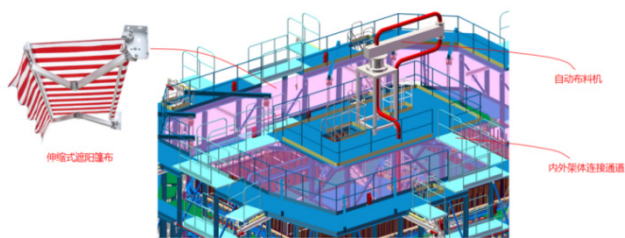


图 7 布料和遮护系统示意图

(2) 智能养护系统。养护系统由封闭围护幕布系统和热雾养护系统组成, 借用外模系统实现双层养护。围护幕布分块设计, 轨道处可拆卸, 其他部分通过 U 型螺栓与架体连接。热雾养护系统可以自动调节温湿度, 有效养护混凝土表面, 底部设置收紧绳和凝露收纳器, 防止水渍污染已浇混凝土表面, 提升高塔建造品质。

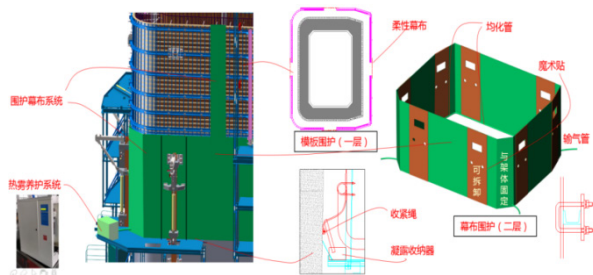


图 8 智能养护示意图

4 结语

龙潭过江通道南塔采用钢筋部品化创新工艺, 将变截面塔柱钢筋结构拆分为钢筋部品网片加工, 通过钢筋

网片柔性生产线, 实现钢筋部品网片工业化生产; 并通过现场钢筋部品拼装胎架快速整体组装, 提高了塔柱钢筋部品装配化、工业化水平, 将塔柱上钢筋连接施工时间缩短为 1 d, 极大提升了钢筋加工精度和钢筋施工效率。同时研发了多功能一体化智能筑塔机专用设备, 并在此基础上进行创新, 该设备集混凝土自动辅助布料、双层智能养护、自动拆合模、爬升自动倒换和全封闭作业功能于一体, 提高了施工效率、保障了作业环境安全, 降低了钢筋混凝土桥塔施工劳动力需求量、人工作业强度, 实现了塔柱施工的智能化和装配化。

参考文献:

- [1] 邹威, 宋神友, 陈焕勇. 深中通道伶仃洋大桥超高混凝土桥塔施工关键技术. 桥梁建设. 2020(50):6:97-103.
- [2] 王东志, 袁航, 张文. 超高索塔一体化智能建造施工技术及试验研究. 公路. 2021(5):122-126.
- [3] 朱浩, 刘洋, 周仁忠. 一体化筑塔机爬升系统受力特性试验研究. 中国水运. 2021(21):6:70-72.
- [4] 苏艳, 曾炜. 深中通道伶仃洋大桥一体化智能筑塔机结构设计. 起重运输机械. 2021(20):29-33.
- [5] 刘源, 林吉明, 董晓兵. 秀山大桥桥塔施工关键技术. 世界桥梁. 2020(48):5:26-31.

