

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2024.11.002

桥梁工业化建造综述

卢永成

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要: 工业化是人类社会发展的必然过程,已成为提高工程施工质量与安全性、加快施工速度、减少现场污染、实现低碳化建设的重要手段。介绍重点工程项目中预制植入桩、预制盖梁无支架拼装与预制构件连接、先张预应力双 T 梁、节段拼装主梁、钢-混凝土组合梁、预制桥梁数字化与智能建造等工业化技术特点与工程应用案例,并对桥梁工业化技术的发展前景进行展望。

关键词: 工业化;桥梁;预制植入桩;双 T 梁;组合梁;节段梁;数字化;智能化

中图分类号: U44

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)11-0004-05

0 引言

我国交通基础设施经历了近四十年的大规模建设,极大促进了国民经济与社会的发展。传统桥梁施工方法面临着质量控制难、安全风险大、环境影响大、劳动力消耗高等问题,已难以满足新时代高质量发展的要求。桥梁工业化技术应运而生,其主要特征是桥梁设计标准化、构件生产工厂化、现场安装机械化、组织管理信息化、运营养护智能化^[1]。桥梁工业化已成为提高施工质量与安全性、加快施工速度、减少现场污染、实现低碳化建设的重要手段。在相关政策引导下,上海市政总院积极开展工业化桥梁新结构、新构造研发,通过对科研成果与工程实践的总结,编制了行业标准《节段预制混凝土桥梁技术标准》(CJJ/T 111—2023)^[2]及多部地方与团体标准与设计图集,促进桥梁工业化技术的示范应用与大规模推广。近 8 a 来,在上海、浙江、江苏等地区先后设计了 40 余座符合工业化要求的全预制拼装桥梁项目。

1 桥梁下部结构工业化技术

1.1 预制植入桩

常用的桥梁桩基础存在以下问题:预制打入桩噪声大,挤土影响大;免共振钢管桩造价高,承载力不稳定;钻孔灌注桩质量不稳定,泥浆排放量大。为了解决以上问题,对静钻根植桩与搅拌植桩两种预

制植入桩工法开展了工艺试验、工程实践与总结。

静钻根植桩是采用专用钻机进行成孔、扩底、搅拌注浆,然后将管桩或复合配筋管桩等与竹节桩组合植入预钻孔内形成的非挤土桩,如图 1 所示。静钻根植桩地质适应性强、施工过程环境影响小、对桩身无损伤。与钻孔灌注桩相比,静钻根植桩施工效率提升 7 倍、泥浆排放量减少 70%、造价节省 15% 以上。施工中应用数字化技术对桩机设备、成孔与扩底、注浆等环节进行科学管理。上海军工路高架工程中采用的静钻根植桩参数为:上端直径 600 mmPHC 管桩,下端直径 650 mm 竹节桩,桩长 56 m;钻孔直径 750 mm,扩底直径 1 125 mm;桩周水泥浆水灰比 1.0、桩端水泥浆水灰比 0.6。对两根试桩进行的静载荷试验表明:单桩竖向承载力大于设计要求的 8 000 kN。

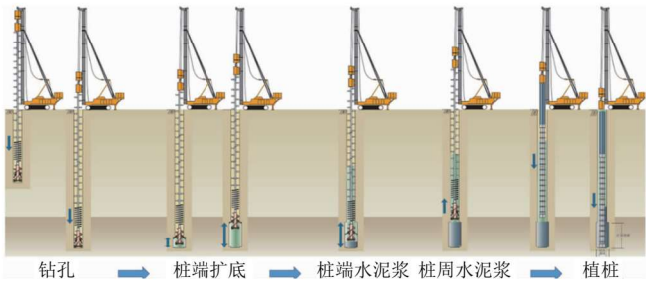


图 1 静钻根植桩施工工艺流程图

另外我们还进行了搅拌植桩工法的工艺试验。该工法集成采用了单桩搅拌+静压沉桩+桩端后注浆三种工艺,既降低了沉桩过程的环境影响,又提高了桩基承载力,同时又提升了施工效率。工程中采用直径 600 mmPHC 管桩,桩长 60 m;搅拌桩孔径 700 mm,上部 25 m,水灰比采用 1.8;下部 25 m,水灰比采用 1.2。实测每根桩泥土排放量 6 m³。对三根试桩进行了

收稿日期: 2024-08-17

作者简介: 卢永成(1965—), 男, 学士, 教授级高级工程师, 上海市工程勘察设计大师, 从事桥梁工程设计与研究工作。

静载荷试验,单桩竖向承载力均大于 9 000 kN。

预制植入桩在桥梁工程中的应用很有发展前景,但目前施工设备尺寸较大,影响了该工艺在环境受到限制的区域的应用,推进预制植入桩施工设备的小型化成为今后的重要工作。

1.2 预制墩柱与盖梁

预制墩柱与盖梁技术在工业化桥梁工程中得到广泛应用。为了减小预制构件重量,满足构件运输的要求,在预制盖梁设计中采用了构件横向分段与竖向分层方案;在墩柱设计中采用分节方案,目前工程中最多有 3 个节段。无支架的预制盖梁横向分段施工对交通影响小,在多个工程中得到大规模成功应用。上海外环抬升浦东段工程高架桥面设 8 个车道,桥梁预制盖梁宽 32 m,整个盖梁重达 500 t。在该工程中首次开展了分片式预制盖梁工艺试验研究,如图 2 所示。每片预制盖梁重 200 t,匹配预制。分片式盖梁工艺便于运输、现场无支架安装,如图 3 所示,现场施工工作量小、对交通影响小,满足地面交通 6~8 车道的通行要求。



图 2 分片式预制盖梁模型试验



图 3 分片式预制盖梁安装

在上海军工路高架的桥墩系梁中采用槽形薄壳预制,如图 4 所示,现场浇筑内部混凝土的施工工艺,如图 5 所示。槽形薄壳预制起到承重与模板的作用。

预制构件的连接是预制拼装桥梁的关键。因此对预制构件连接开展了预制墩柱套筒连接、金属波纹管连接、承插式连接、超过性能混凝土(UHPC,Ultra High Performance Concrete)连接等多种形式的试验



图 4 槽形薄壳预制



图 5 槽形薄壳安装

研究。套筒连接与金属波纹管连接灌浆作业普遍是人工操作,通过过程控制来保证灌浆质量,受人员操作影响,灌浆质量易出现波动。工程中对灌浆饱满度与砂浆强度等指标提出检测要求很有必要。目前有内窥镜法、预埋钢丝拉拔法、芯片法、超声波法、X 射线法、钻芯法等多种检测方法可供选择,其中内窥镜法较为直观、高效便捷。一些工程中开始应用智能灌浆系统提高灌浆质量的可靠性,相关经验有待总结推广。

2 桥梁上部结构工业化技术

2.1 先张预应力双 T 梁

为了提高中小跨径桥梁的耐久性、经济性,通过设计与制造协同开发了适应工业化建造的 22 m 级先张预应力双 T 梁。其主要特点为:(1)开口截面,便于预制以及检查维护;(2)等截面无跨中横梁,构造简化,施工方便;(3)先张法折线预应力,受力合理、减少工序、质量可靠;(4)C60 混凝土,充分利用材料强度。实现了 22 m 级及以下跨径的系列化,对横截面进行标准化设计,不同跨径与梁高可以使用同一套模板。创新开发了分体组合式弯起工艺以及压锚具,如图 6 所示,实现了预应力弯起装置标准化。开发了一种自张拉模板与智能张拉系统,为双 T 梁的制作提供了新方法。开展了 22 m 级双 T 梁结构性能分析研究与足尺模型加载试验。目前,双 T 梁在上海多个工程中得到应用推广,如图 7、图 8 所示,其中在上海金闸公路胜利河桥中应用双 T 梁并结合桥梁快

速化施工技术,在双休日 57 h 完成桥梁上部结构与附属结构更换,实现了通车目标,最大限度减小对市民出行的影响。近期,又开发与应用了 30 m 级先张预应力双 T 梁及 30 m 级先张预应力 T 梁新结构。



图 6 分体组合式弯起压锚具



图 7 双 T 梁预制



图 8 双 T 梁工程应用

2.2 钢 - 混凝土组合梁

钢 - 混凝土组合结构梁是指将钢梁和混凝土桥面板通过剪力件连接成整体共同受力的结构形式。该结构充分发挥了钢结构和混凝土结构材料特长,具有受力性能好、费用低、施工速度快、现场安装质量高等优点,非常适合工业化生产。根据工程建设条件,应用了多种形式组合梁结构,如双主梁钢板组合梁、多主梁钢板组合梁、双主梁窄箱组合梁、多主梁钢箱组合梁等。

上海军工路高架全长 7.3 km,工程中提出“小型化、轻型化、快速化、工业化”的设计理念,大规模采

用组合钢板梁,上部结构相对常规小箱梁结构可减轻 30%~40%。高架桥设 6 车道,25 m 桥宽采用 6 片钢梁布置。组合钢板梁的钢梁与桥面板分别预制,现场吊装。构件采用履带吊或桥面架桥机安装,如图 9 所示,钢梁栓焊连接。组合梁钢梁与桥面板间采用簇式焊钉连接件连接^[3]。



图 9 上海军工路高架

深圳望鹏立交为大型全互通立交,主线桥包含标准段、异形变宽段;匝道桥包含标准段、小转弯半径段和异形变宽段,均采用“双窄箱”钢混组合梁标准化设计。经比较,采用大横梁体系“双窄箱”钢混组合梁,如图 10 所示。组合梁的钢箱梁与桥面板在工厂预制,采用履带吊安装或顶推滑移施工。



图 10 深圳望鹏立交

开发了工业化建造理念下的新结构型钢组合梁,实现高质量的工业化生产,减少原材料、能源和人工的消耗,免去大量焊接工序,提高了结构抗疲劳性能。钢主梁采用目前国内最大规格的重型热轧 H 型钢,型钢高度 1 158 mm^[4],组合梁采取整体预制,如图 11 所示;现场逐跨吊装(见图 12)及钢结构螺栓连接。今后对型钢组合梁如何适应道路平、竖曲线的变化还需进行深入研究。

2.3 节段预制混凝土梁

节段预制混凝土梁工业化生产、构件轻量化,外观优美,在多个城市桥梁项目中得到应用。适应标准段、变宽段、小半径曲线段、大跨径等要求。

南昌洪都大道位于市中心,全长 7.6 km,全线高架桥采用节段预制混凝土梁结构。针对本项目特点



图 11 型钢组合梁预制



图 12 型钢组合梁安装

开展了节段预制混凝土梁标准化设计、设计与施工一体化、计算分析方法及结构耐久性等方面关键技术研究。主线标准段桥宽 25.0 m,采用两个单箱单室截面。高墩采用固结墩、低墩设支座。预应力设计中兼顾钢束效率与施工效率,经比较采用体内与体外预应力混合配束,体外束比例接近 70%^[5]。节段采用短线法预制,最大节段重量 70 t。50 m 跨径以下采用架桥机逐跨拼装,如图 13 所示,50 m 跨径以上采用桥面吊机悬臂拼装。



图 13 南昌洪都大道节段梁安装

深圳新城立交设 13 条匝道,在深圳市立交工程中第一次大规模应用全预制拼装施工工艺。该工程主梁、墩柱与护栏均采用预制拼装,预制装配率达 85%。平面曲线半径 $R \geq 150$ m 的桥梁上部结构主要采用节段预制混凝土梁,单箱单室截面,如图 14 所示。曲线节段梁采用专门研发的架桥机逐跨架设。

提出了一种单箱单室大挑臂复合截面节段梁结构,适用于宽幅桥面。大挑臂宽幅主梁的纵向、横向



图 14 深圳新城立交

分段,如图 15 所示,既实现构件轻量化与施工快速化,又节省了工程造价。主梁采用架桥机逐跨拼装,如图 16 所示。先拼装核心梁段,张拉体外束;后拼装挑臂,张拉体内束。对单箱单室大挑臂复合截面构体系、合理构造、受力性能、连接技术、施工工艺等方面开展了技术研究^[6],为该结构的工程应用提供了技术支撑。

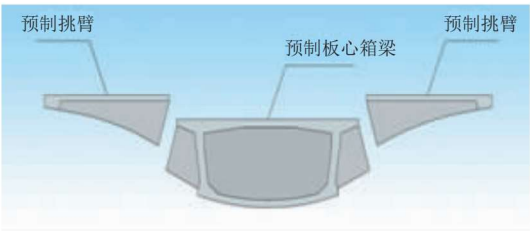


图 15 单箱单室大挑臂复合截面



图 16 架桥机先拼装核心梁段

3 数字化与智能化

数字化与智能化的应用是新型工业化桥梁建设的重要趋势,其不仅提高了桥梁建设的质量和效率,还增强了桥梁运维的安全性。

在预制装配式结构中,利用 BIM 技术可以在项目全生命周期发挥价值。在设计阶段能够基于装配式构件,实现方案快速生成与结构的复核优化,确保设计方案的合理性;在生产阶段能够实现模板的精细化设计,确保构件生产一次成型;在施工阶段可以进行装配式施工可视化模拟,优化施工组织方案;在建设运维管理阶段可以沉淀全生命期的数据资产,实现工程高效管理。

近期,上海市政总院院将交通基础设施 BIM 模

型与地理信息 GIS 模型相融合,打造了多源信息融合的“一张总图”可视化展示平台(VDBIM)。在真实还原三维设计方案的同时,结合设计方案文本、图片和标绘等元素,形成的可展示、可交互的三维汇报系统。代替了传统 PPT 汇报手段,降低了方案沟通门槛,大幅提升可视化呈现效果,为规划和设计提供重要决策参考。

智慧预制加工平台预制构件工序全程透明化,让预制件生产可感、可知、可控,实现对于预制构件质量、进度的精细化管控;智慧建造协同平台以信息模型和数据管理为核心,串联施工管理各条线,包括进度、质量、计量、安全、现场流程管理等,以提高管理效率和数据可靠性,实现施工管理数字化升级;智慧工地平台实现施工现场全要素感知和统一化在线监管。

根据国家“智能建造、绿色建造”的大背景,积极推进智能梁厂的建设,引入鱼雷罐混凝土运输布料系统、智能液压模板系统、移动台座及控制系统、智能蒸养系统、横移摆渡系统、中央数据监控系统等一系列工装设备,从而减少了人工作业偏差,减少粗放式的作业管理,使桥梁构件生产真正实现工厂化流水作业。小箱梁智能制造提高了生产效率:每片小箱梁的生产时间从 8 d 缩短到 3 d,生产人员减少

30%,梁场用地减少 40%。

4 展 望

(1)随着科技的不断进步,桥梁新型工业化技术将实现更大突破。新材料、新工艺的应用将提升桥梁的安全性、耐久性和全生命周期经济性。

(2)信息化、数字化、智能化等技术将深度融入桥梁设计、施工、运维等各个环节,提高建设效率和工程质量,降低安全风险。

(3)绿色低碳发展理念将贯穿桥梁新型工业化全过程,推动绿色桥梁建设,实现资源节约和环境保护。

参考文献:

- [1] 卢永成. 桥梁预制拼装技术[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2021.
- [2] CJJ/T 111—2023,节段预制混凝土桥梁技术标准[S].
- [3] 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司.上海军工路快速化改建工程施工图[Z].上海:上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,2020.
- [4] YB/T 4832—2020,重型热轧 H 型钢[S].
- [5] 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司.南昌洪都大道快速化改建工程施工图[Z].上海:上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,2017.
- [6] 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司.大挑臂复合截面预应力混凝土节段梁关键技术研究[R].上海:上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,2024.

《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