

陆域高速公路全预制装配式桥梁的工法比较与研究

于雪晖* 夏云龙

浙江数智交院科技股份有限公司

摘要: 陆域全预制装配式桥梁在我国已经得到了长足的发展和大量的推广应用,但是其设计方法、设计标准体系均不够完善,本文通过对两个陆域高速公路全预制装配式桥梁的采用的工法进行比较研究,针对不同的建设条件,以保证施工工期、减少临时用地、减小对周边环境和交通影响为目标,提出合理选择施工工法、改进装配式施工设备、匹配设备参数的方法,形成标准化施工工法体系,并针对性制定预制和安装精度控制标准,为陆域全预制装配式桥梁的设计提供参考。

关键词: 全预制装配式桥梁;一体化架桥机;履带吊

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.14.055

引言

陆域全预制装配式桥梁发端于美国,我国从20世纪90年代起开始相关研究,2014年以来,全预制拼装工艺在我国逐步得到了推广应用。全预制装配构件主要包括上部结构主梁、下部结构盖梁和墩柱;其中常规的上部结构主梁的预制拼装技术发展已相当成熟,现阶段研究主要集中在下部结构盖梁和墩柱预制拼装技术上。

一、陆域全预制装配式桥梁设计与施工的关键问题

(一) 运输与安装设备

全预制装配工艺流程采用构件在预制场进行预制,使用运输设备至桥位现场,现场采用机械设备进行安装。全预制装配设计和施工的核心在于运输和安装设

备,工业机械化水平的不断提高使得大型机械设备制造更加容易,也使桥梁全预制装配工艺成为现实。可用于陆域桥梁预制构件安装的起重设备主要有:汽车吊、履带吊、架桥机、起重挂篮、轨道龙门架等等。各种设备都有其适用的条件和对场地、环境的要求,选择和研发适用的设备是构件顺利安装就位的关键所在。

(二) 连接构造

陆域桥梁建设受到运输条件、设备站位条件等的限制,运输车辆吨位和起重设备能力一般均不超过200T,因此导致预制构件也相对小型化;另一方面,随着城市经济水平的发展,桥梁宽度越来越宽、用地指标更加集约化,发展出更多的大尺寸立柱和大悬臂盖梁结构;两方面因素叠加导致预制构件需多节段划分和拼装^[1]。因此连接构造的确定也是全预制装配式桥梁实施的关键问题。常用的预制构件连接方式有灌浆套筒连接、半灌浆套筒连接、现浇湿接缝预应力连接、环氧胶干拼结合预应力连接等^[2]。

二、项目实例

近几年,在浙江省内实施的多条高速公路陆域桥梁采用了预制装配式设计,本文主要依托宁波舟山港主通道工程和金丽温高速东延线工程展开陆域桥梁设计和施工工法的比较和研究。

三、施工工法比较研究

陆域全预制装配式桥梁常用的施工工法有一体化架桥机施工工法和履带吊安装工法两种,两种工法各有优劣,适用于不同的建设条件见表1。

表1 不同施工工法的优缺点比较表

类别	推进方向	地面承载需求	便道需求	临时用地	政策处理	适用条件
架桥机	单向推进	无	普通车辆便道	不需要	遇到政策处理节点时推进容易受阻	政策处理节点少 临时用地受限 规模化连续高架桥
履带吊	多点开花	履带吊型号控制要求高	大型构件运输便道、吊机站位平台	需要	政策处理节点处可以调整工作线路灵活避让	地面承载能力好 政策处理节点多 地面运输条件好 桥下共建道路路段特别适用

宁波舟山港主通道工程陆域桥梁位于舟山本岛西北侧,处于城乡结合带,桥梁穿越路段为围海形成的滨海农田,交通条件差、地表承载能力差、用地指标少、环保要求高。如采用传统的运输车辆和起重设备,首先需修筑运输便道和硬化设备场地,并保证足够的承载能力,但周边基本农田的环保要求高、临时用地指标有限,不适宜建设大规模的临时便道和吊机平台。运输和

作业的空间不得不转移至空中,架桥机在桥宽范围内纵向行走,可有效完成架设工作,构件运输通过梁上运梁在已架设桥跨上运输,避免了临时便道的需求。传统的架桥机以安装上部结构主梁为主,全预制装配桥梁需采用一体化架桥机同时满足主梁和墩柱的安装需求。

一体化架桥机施工作业面有限,各工序需依次作业单向推进,因此拓展作业面、提高工效是一体化架桥机

新的关键。

金丽温高速东延线工程穿越温州城区密集的城镇居民区，房屋拆迁规模巨大，涉及多处整村搬迁，政策处理不确定因素对施工影响很大，采用一体化架桥机这种单向推进式的施工工法难以保证施工工期。采用机动化程度较高的履带吊设备有利于工作面多点切换和展开，避免不确定因素造成窝工影响工期。项目所在地路网发达，运输条件良好，桥址处多为硬化路面和拆迁后的房屋地基，地表承载能力良好，对预制构件的运输和履带吊等起重设备站位极为有利，不需要另设施工便道。

虽然起重条件良好，但陆上运输设备和履带吊仍受运输路线、地基承载力等因素的制约，因此预制构件重量和设备参数的匹配是履带吊安装设计的关键。

四、一体化架桥机设备研究

传统的一体化架桥机只有一个施工作业面，各工序必须依次作业，单跨施工包括立柱安装等强、盖梁安装等强、T梁安装等强三大主要工序。该传统的单孔单向推进工法施工工效较低，工期较长，通过创新拓展作业面、提高工效是一体化架桥机架设是一体化架桥机发展的主要方向^[3]。

宁波舟山港主通道工程通过上下部结构全预制、墩梁一站式、多工作面架设的创新理念，在传统的一体化架桥机基础上拓展成两个工作面，分别进行上下部结构架设。前端工作面完成立柱、盖梁安装，后端工作面完成T梁安装，双工作面同时作业。双工作面一体化架桥机规范和统一了上下部的施工方法，真正实现了自动化和机械化施工。架桥机平台的采用，使安装定位效率大大提升，定位精度大大提高。

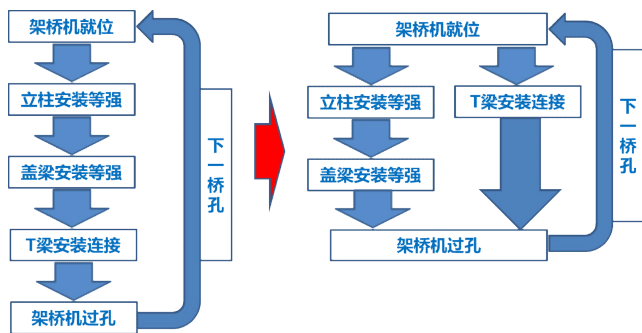


图1 单工作面一体化架桥机和双工作面一体化架桥机施工流程差异图

双工作面一体化架桥机施工工法考虑气候影响系数后，5天可以完成一孔T梁和一个桥墩（含立柱和盖梁）的安装。比单作业面一体化架桥机每孔桥梁安装节省3天。

陆域桥梁预制立柱、盖梁和T梁的双工作面一站式安装，最大限度地实现了构件安装的自动化、机械化，大幅提高了构件的定位效率和定位精度，同时节约了临



图2 一体化架桥机吊装施工图

时用地，填补了国内相关领域的空白，是陆域桥梁施工的一场革新，是工业化绿色快速建造工法的典范。

五、构件重量与吊装设备工程参数匹配研究

金丽温高速东延线工程桥面宽度33m，设计盖梁全长32.8m，盖梁总重量625T，是国内目前最大的陆域桥梁最大型的预制构件。由于项目业主自有构件预制基地作为全省试点示范基地，基地位于洞头大门海洋经济示范区，基地与本项目距离较远，运输路线上要经过多条温州市区的公路和市政道路，显然从运输角度考虑，大规模的625T盖梁一次性的预制运输是不现实的，采用分段或分层方式对盖梁划分进行预制与安装较为可行。

根据运输路线的调查、桥址地面承载力试验等研究，运输和安装构件最大可能重量为170T。构件设计特别是节段划分以该限制重量作为基本依据，将盖梁纵向分成8.825+7.4+7.4+8.825m四段节段，分别重145+164+164+145吨，两个柱顶段与立柱半灌浆套筒连接，柱顶段之间现浇素混凝土湿接缝连接，悬臂段与柱顶段之间设置台阶构造，在预制场内匹配预制，吊装后在拼缝处涂抹环氧树脂胶并张拉钢束连接。下部结构的拼装包括以下主要工序：①承台及基础现浇施工，承台顶面预留连接钢筋；②吊装立柱与承台套筒连接；③吊装柱顶段盖梁与立柱套筒连接；④吊装悬臂段盖梁与柱顶段盖梁张拉钢束连接。

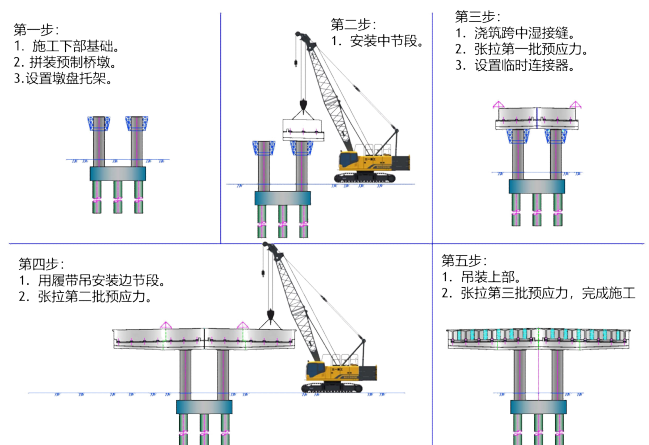


图3 履带吊安装工法主要施工流程图

(一) 运输设备的匹配选型

由于构件预制基地位于岛上，需通过海运转陆运方

式运至桥位现场。

岛陆船运条件较好，可通行1万吨级海轮，因此船舶选择800-1500吨的甲板驳或深舱驳船，一次运输5-8个构件。选择船型船长76米，船宽15.5米，型深3.76米，满载吃水2.36米，空载吃水0.8米。满载排水2248.5t，空载排水664.45t，柴油机功率：350kw×2。

船运至码头通过码头提梁站卸船转为陆运，陆运由运梁车在既有的道路上行驶运输。陆运运梁车采用牵引车头+载重副车的形式进行装载运输。车辆主要技术参数见表2：

表2 车辆技术参数

牵引车	
驱动形式	6*4
最大马力	550 马力
牵引总质量	40 吨
载重副车	
允许载重	≤200 吨
轴线	4 轴
副车尺寸	5.5*2.55*1.5 (长*宽*高)
转弯半径	18米

(二) 安装设备的匹配选型

根据构件重量和安装高度考虑，选用400吨履带吊，主臂长度24-84米。安装墩柱过程中，履带吊可以尽量靠近承台，以满足起重高度的需求。线路两侧均有既有道路的情况下，安装盖梁时，履带吊可以先安装中间段及一侧的分段，然后移动至另一侧既有道路进行安装，能够满足12米的吊装幅度；拆迁路段侧向空间较小时，可横桥向站位，便于履带吊跨过主线中轴线，进入对侧吊装区域。400吨履带吊主要技术参数见表3：

表3 400吨履带吊基本参数

技术指标	单位	数值	
主臂工况	额定起重量	t	400
	最大起重力矩	t·m	2090
	主臂长度	m	24~84
	主臂变幅角	°	30~84
主臂带超起工况	额定起重量	t	400
	最大起重力矩	t·m	5220
	主臂长度	m	30~117
	超起桅杆长度	m	30
	主臂变幅角	°	30~84
平均接地比压 (基本臂)	MPa	0.173	

六、预制构件制造与安装精度控制比较研究

预制构件的制造与安装精度一般由其连接构造对精度的要求控制，但不同工法尤其是利用不同施工设备进行构件拼装，对构件精度控制也有不同的要求标准。

本文介绍的两个项目承台与立柱间、立柱与盖梁间均采用了灌浆套筒连接，该连接构造要求预留钢筋和套

筒间准确对位，因此该连接处的定位精度均不应超过±2mm，且预制时必须采用相匹配的定位板固定在模板上进行浇筑。

金丽温高速东延线工程履带吊工法采用逐段安装盖梁，每个盖梁节段只与一根立柱连接；而宁波舟山港主通道工程一体化架桥机工法在立柱成型后安装整根盖梁，盖梁底部套筒需同时与两根立柱的预留钢筋对接，显然对立柱安装精度要求更高，特别是对高墩的墩顶坐标控制应尤其严格，同时专用架桥机自身刚度较高稳定性好，也更有利于控制安装时的误差。因此，架桥机工法要求立柱安装各向偏位均不应超过±10mm，且应控制柱间偏差；履带吊工法则要求立柱安装各向偏位不超过±20mm。

金丽温高速东延线工程两段柱顶盖梁间采用现浇湿接缝方案，悬臂段与柱顶段之间设置台阶构造，张拉钢束连接。该连接构造对精度要求相对较低，盖梁至上部结构间还有支承系统可作为精度调整的余地，因此适当放宽精度要求至偏位不超过±20mm，降低履带吊安装的实施难度。

七、结语

本文以两个高速公路工程项目陆域全预制装配式桥梁的设计为依托，从不同工程建设条件的背景出发，重点从全预制装配式桥梁施工工法、架桥设备、运输设备、吊装设备选择等内容进行分析研究，针对不同的自然环境条件和社会环境条件，以最大限度减少桥下临时征地、减小对周边环境和交通的影响、保证施工工期为目标；规范和统一上下部施工工艺，最大限度地实现自动化和机械化安装；降低施工风险、改善现场施工形象；使社会效益最大化为基本需求，选择和研发最合理的装配式施工设备，形成标准化施工工法体系，并针对性制定预制和安装精度控制标准，为今后全预制装配式桥梁的设计技术提供指导，具有重要的参考价值。

参考文献

[1] 沙丽新, 李国平. 典型城市高架倒T盖梁预制装配式设计关键技术研究[J]. 中国市政工程, 2017 (03): 16-19.
 [2] 齐新, 卢永成, 周海峰. 桥墩预制装配连接技术特点与应用[J]. 城市道桥与防洪. 2020, (08): 89-93.
 [3] 张胜利. 宁波舟山港主通道(鱼山石化疏港公路)工程海域桥梁总体设计[J]. 公路. 2021, (11): 169-173.

作者简介：于雪晖（1984-），男，浙江省绍兴市人，硕士学位，高级工程师。

作者简介：夏云龙（1983-），男，浙江省温州市人，硕士学位，高级工程师。

通讯作者：于雪晖