

跨既有航道钢桁梁浮拖法施工工艺与操作规程研究

李金宝

中铁建城建交通发展有限公司

摘要：本文以申张线青阳港段航道整治工程某90米单跨简支钢桁梁桥梁工程为例，研究跨既有航道钢桁梁浮拖法的施工操作工艺规程。首先对跨既有航道钢桁梁浮拖法施工工艺的原理特点进行介绍，了解该工艺的基本特点，重点结合本项目分析浮拖法工艺的施工操作工艺规程，在此基础上总结关于浮拖法的施工方案效果评估与改进措施。

关键词：浮拖法；跨航道；施工操作

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.07.050

一、引言

1. 研究背景与意义

在经济发展不断加速的今天，国内交通运输需求激增，愈多的交通项目需要跨越航道搭建桥梁，这也给桥梁工程施工提出新的要求。桥梁结构形式愈加多样，施工工艺不断更新。钢桁梁在跨航道施工中具有刚度大、自重轻、跨度大等诸多优势，在实际项目中的应用也愈加普遍。此类桥梁的施工需要在有限的陆地和狭隘的水域等多种困难条件下施工，难度较大，常用方法包括悬臂法、浮吊法、门吊法、浮拖法等，或者采用多种工艺相结合的方式。浮拖法架设工艺不需要长期封堵航道，而且能够在跨度较大的航道桥梁项目中应用，能够有效解决桥梁施工中占用水运航道的矛盾，尤其适合无法断航的跨航道桥梁项目。近年来国内对于浮拖法工艺的应用也不断增加，比如丹阳市跨越苏南运河的云阳大桥和无锡市跨越京杭运河的拱形桥梁都采用浮拖工艺施工。

未来国内桥梁工程施工可能会面对更多更复杂的跨越河流的复杂工况，钢桁架结构和浮拖法工艺的应用会更加广泛，也会遇到更复杂、更严格的施工要求。因此在现阶段加强对于跨既有航道钢桁梁浮拖法施工的施工操作工艺规程的研究是十分必要的，一方面能够更加全面的了解跨既有航道钢桁梁浮拖法的施工原理、工艺特点以及具体的施工、操作工艺，形成对于浮拖法施工的基本认识，另外能够挖掘分析该工艺可能存在的问题及需要改进的环节，进一步完善工艺流程，更好的发挥浮拖法工艺在跨既有航道钢桁梁施工中的作用。

2. 研究目的与内容

希望通过本课题的研究形成对跨既有航道钢桁梁浮拖法施工工艺和操作规程的基本认识，也为后期更好的应用该工艺提供参考。本课题的研究内容主要包括三个方面，其一是跨既有航道钢桁梁浮拖法施工原理和特点的概述，其二是施工操作工艺规程研究，其三是施工效果评估与改进措施。

二、跨既有航道钢桁梁浮拖法施工概述

1. 浮拖法施工原理

浮拖法的施工原理顾名思义，“浮”是指利用浮力托举钢桁梁，“拖”是指利用液压系统顶拖桁架跨河流，实现跨航道桥梁的架设施工。一般是在航道岸边的一侧搭设临时支架，并在支架上组拼钢桁梁，之后在航道上利用浮船、浮墩等组成支撑系统，通过船舱放水的方式借助浮力托起钢桁梁的前端，钢梁仅支撑在尾部滑移系统和船体之上，形成简支浮运体系，再利用滑移系统中的液压千斤顶和浮船系统上的卷扬机等设备将整个钢桁梁逐渐推移到航道对岸。实际施工中还需要考虑到推移系统的平衡，桁架的稳定性、液压系统的同步控制以及浮船整体的同步沉浮控制及纠偏等多个方面。

2. 浮拖法施工特点

浮拖法工艺自身最大的特点就是平衡稳定，由于浮拖过程中，整个钢梁和浮船、滑移系统形成二点支承钢梁的简支结构，而且能够维持稳定的顶托力，能够有效降低浮墩倾斜、受力不均衡等意外因素的影响，避免出现应力集中、结构失稳倾倒等问题，施工过程更加稳定可靠，安全性更高。但是浮拖法工艺施工的过程也相对复杂，需要大量的前期准备和反复的校核校验，需要综合利用多种专业设备，需要不同专业人员相互配合，才能保障浮拖作业的顺利完成，这也给施工人员、管理人员提出更高的要求。

三、施工操作工艺与规程研究

由于现场河面较宽，施工中需要保证通航要求，对于施工安全防护要求高，且工期较短。同时施工中使用的钢梁重量大、浮墩支架高、桁架杆件多、钢梁拖拉悬臂较大，需要重点关注浮拖施工。考虑桥梁结构特点，采用“厂内分段加工+现场拼装+滑移、浮拖”的总体施工思路。

1. 施工前准备工作

(1) 测量与设计

在正式施工前，首先对申张线青阳港段航道整治工程中某90米单跨桥梁工程项目的实际场地进行勘测。了解航道跨度、地质水文信息，项目设计要求等。重点测量航道流速、宽度、水深及相关数据，针对跨航道桥对于净空、施工进度等各方面的要求，设计相应的方案。本项目中，需要对现有航道进行升级，按照三级航道标准建设桥梁，保证通航净空为 $60 \times 7\text{m}$ 。本桥主体钢桁架结构桥梁，上部采用华伦式三角形腹杆体系，下部结构采用框架式桥墩，每片主桁两端设球型钢支座。

(2) 材料准备

浮拖法施工现场需要使用的材料种类较多,在施工前,需要结合工程项目的施工计划,提前规划施工材料的准备和进场。因钢梁材料需在现场进行拼装施工,其辅助材料也要配套准备并安排进场。

(3) 设备准备

跨既有航道钢桁梁浮拖法施工工艺流程复杂,需要各专业配合,同时需要使用多种不同类型的施工设备,比如钢桁梁的加工设备、路面吊装设备、推进设备、水面浮托设备、牵引设备等。这些设备的操作使用要求较高,需要提前确定专业的设备供应单位及操作人员,确保满足施工需求。本项目中需要使用110t浮吊、25~75t汽车吊、履带吊、干货船、120振动锤、落梁千斤顶等施工设备。同时还要提前准备全站仪、探测仪等测量监测设备。

2. 施工流程

(1) 基础施工

钢桁梁浮拖法施工一般需要将组装好的钢桁架从路面滑移到航道上方,这一过程需要路面和水面设备的配合。而路面需要提前做好滑移作业的基础,最关键部位就是滑移轨道的施工,其作用是承受钢桁架桥结构滑移过程中的竖向荷载,并为爬行者提供反力点,在滑移方向上提供顺畅的通道。在本项目,需要在桁架桥下弦下方布置滑移轨道分,上滑道设置于主桁下弦杆节点下方,上滑道根据预拱度要求,同时考虑最大悬臂时的下挠(46mm),将前端抬高20cm,通过调节上滑道高度,达到上述设置,上滑道底面处于同一标高上(下滑道呈水平状)。滑移轨道采用43KG热轧钢轨,用以提供爬行器的夹持反力点。考虑到本项目桥梁跨度较大,施工要求较高,除了基础的路面施工之外,额外设置滑移临时墩,用于钢桁架的滑移。临时墩采用钢管桩、工字钢材料施工,分配梁将墩顶所受压力均匀分配到下部钢管桩承重结构。

(2) 钢桁梁安装

钢桁梁是桥梁项目的主体工程内容,施工完成后承受使用过程中的主要负荷,必须保障其质量可靠性,本项目在厂内对钢桁梁分段加工,运输到现场后进行拼装,杆件到场后分为从大桩侧往小桩侧进行分节段组拼。钢梁组拼的基本思路为在滑道上拼装主桁、横梁、上平纵联(横联及门架在临时存料场地组拼完成后整体吊装)→安装牵引设备→拖拉前技术检查→浮拖就位→落梁。

(3) 浮拖施工

浮拖是钢桁梁浮拖法施工的关键步骤,也是影响施工质量和安全的关键环节。跨度窄,规模小的项目通常是在钢桁梁一次性拼装完成后一次浮拖到位,对于跨度较宽,工况复杂的项目则需要分多次进行浮拖作业。本项目施工中,钢梁拼装、滑移、浮拖作业交错多次施工。钢梁在两次组拼完成后分别进行两次滑移施工,直

至钢梁前端向拖拉(浮拖)至钢梁的悬臂2个节间。再用浮墩顶托钢梁(支点设在第3#节点),将钢梁拼装支点悬空10cm(撤出调整垫块),仅尾部支点和浮墩支点支承钢梁,各项检查合格后即可向前第三次滑移施工浮拖,直至浮拖到大里程主墩,并落梁就位。具体划分为8个工况,其一是第一轮组拼构件(除了小桩侧的最后一个节间构件外),其二是待第一次组拼、焊接并检测合格后,拆除与支撑架间的临时连接,启动滑移设备,钢梁进行第一轮滑移,钢梁前端向拖拉(浮拖)悬臂1个节间,滑移距离16米。其三是第二次组拼后续的两个节间构件,完成主结构组拼工作。其四是钢梁向前端拖拉(浮拖)至钢梁的悬臂4个节间,悬挑29.6米。其五是向浮墩船舱内压水下沉(浮墩顶低于梁底),然后移至钢梁第3个节间处,浮墩对准第3个节点,抽去船舱内压仓水,浮墩上浮托起钢梁前端,拆除除尾部支点外各节点支点(悬空10cm,拆除下滑道垫块,起保险作用),仅钢梁尾部支点和浮墩支点受力,支承钢梁(两点支承)。其六是启动钢梁尾部150T横移千斤顶拖拉,将钢梁向前滑移12.5米,钢梁尾支点位于两组支撑架中间位置。其七是启动钢梁尾部150T横移千斤顶拖拉,将钢梁向前滑移,浮墩随钢梁滑移速度,通过前行绞车和钢梁一同前进,并监控钢梁(浮墩)运行方向,采用方向控制缆(绞车),稳定浮墩运行方向或纠正运行方向。其八是在主墩墩顶布各设2两台400吨落梁千斤顶,钢梁落至落梁千斤顶上,钢梁浮拖到位后,浮墩船舱内压水下沉,解除浮墩与钢梁的约束,移开浮墩,完成浮拖作业,最后安装主墩支座,再进行落梁施工。

3. 施工安全措施

安全生产是工程项目施工的重中之重,尤其是面对施工难度较大的钢桁架桥梁浮拖施工作业,更要重视安全问题。

(1) 安全检查与培训

一方面要做好施工过程中的安全检查,在本项目推进中,为了搞好工地的安全生产,消除安全隐患,成立安全检查小组,建立健全安全检查制度,由安全检查小组实行定期对工地进行安全检查。除项目部组织的周检外,各班组要进行日检,并做好班前班后检查的记录工作。并及时对存在的安全隐患进行整改。安全员每日对工地进行巡回检查,对发现的违章作业行为进行制止和纠正,并提出整改意见和建议,拒不整改的视其情节严重采取口头警告、书面警告或罚款的处罚措施。对检查中发现的安全问题,立即进行处理,及时制定措施、定人、定时进行整改,并将检查和整改情况记录在案。

另一方面需要重视施工人员、管理人员的培训教育,提升安全意识和责任质量意识。在本项目施工中,施工人员进场后,首先组织集中培训,学习相关管理规定、施工工艺和施工方法,让所有施工人员掌握施工管理制度、施工技术等内容,施工人员须经考核通过后才

能正式上岗。同时项目部管理人员再对其管辖范围内的作业层进行书面交底，特别是吊装、焊接专业工种，让班组人员都能熟悉掌握图纸、操作工艺等。

(2) 防护措施

施工现场存在工序混合，施工交错作业的情况，而且现场施工设备人员较多，提前做好安全防护有利于更好的保护人员安全与现场安全。其一是制定现场防护方案，综合考虑到现场可能出现的安全问题，识别危险源，比如起重设备使用、水上设备施工等。其二是针对性的配备防护措施，比如佩戴安全帽、安全绳，设定危险作业区域，制定危险环境作业流程等，预防安全事故的发生。本项目尤其要注意焊接作业、起重吊装设备使用和水上浮拖作业施工中的安全防护。

(3) 应急处理措施

防患于未然是施工管理的重要指导思想，提前制定应急处理预案能够更好的降低事故伤害和损失，缩小事故影响范围。在本项目中，建立了应急救援小组，制定了相应的工作原则，并重点针对施工中可能出现的梁体倾覆、物体打击、水中交通事故、触电事故等意外事故制定了相应的应急预案。

4. 操作人员要求与培训

钢桁梁浮拖法属于专业施工作业，尤其是钢桁梁的滑移拖拉、吊装、浮拖安装作业，这些都需要专业人员进行操作。专业作业要求操作人员必须取得相应的操作证书，比如焊工证、高空作业证、船舶驾驶证等。同时需要在操作施工前进行专业培训，一方面是检验操作人员的技能水平，确保其能胜任相关的工作，另一方面是进行技术交底，了解具体项目的实际情况，制定切实可行的操作施工方案。在本项目施工中，针对施工人员、管理人员都进行培训和考核，要求其取得相应的教育合格证书，同时复审特殊工种人员的证书并培训考核，同时在日常多次反复组织培训学习，提升操作人员的专业素质和安全意识。

四、施工方案效果评估与改进措施

1. 施工方案效果评估指标

施工方案评估指标是评估施工方案的重要参考，也是指导施工的参考。在跨航道桥梁施工中，需要综合考虑施工成本、施工安全、对航道占用时间等，可以将此类数据列为施工方案效果评估的主要指标。同时还要考虑到安全施工、文明施工、现场管理等不容易量化的内容。

2. 施工方案效果评估方法

首先在正式施工前结合项目特点设定相应的施工方案目标标准，尽量建立可量化的评估指标量表，比如施工进度、资金预算使用、人员成本、占用航道时间等，便于后期实际评估作业的开展以及相关数据的量化分析。其次是对施工方案执行中的各项数据进行采集，数

据采集可以采用问卷调查法、设备检测法、实地观察法等。在获取基本数据后，利用科学数据模型进行数据分析，及时发现施工中可能存在的问题以及方案可以优化的细节。最后是针对出现的问题制定合理的优化方案，设计更加科学的施工方案。

3. 改进措施研究

(1) 完善技术规范，指导工艺施工

目前虽然浮拖法工艺的应用案例不断增加，但是在桥梁施工中的总体占比不高，实际施工中也没有形成标准性的技术规范，不同案例的施工差异较大，无法形成实质的参考性和指导性，也影响到浮拖法施工工艺优势的发挥。因此未来需要结合以往的施工案例和浮拖法工艺的原理特点，设计完善相关的施工技术规程，在实际施工中能够指导施工操作，优化工艺流程，提高工作效率和安全性，更好的发挥浮拖法在跨既有航道钢桁梁施工中的技术优势。

(2) 科学建模，精细化分析

钢桁梁结构通常是多次拼装组合完成，各个节点都处于不同的受力状态，浮拖滑移过程中的内部受力情况也相对复杂，这些都会影响到结构的可靠性和施工安全，一般需要建立模型进行有限元分析，但是建立的模型通常无法真实反映钢桁梁实体的受力情况。这就需要建立更加科学的有限元分析模型，对于桁架连接点等特殊位置，可以建立精细化更高的局部模型来单独进行分析，从而更加真实的反应整个钢桁梁的受力状况和应力变化等。同时可以利用更先进的设备自动采集钢桁梁实物的应力数据，实时掌握其应力状态。

五、结语

浮拖法施工在跨既有航道钢桁梁桥梁的施工中具有鲜明的技术优势，未来的应用也会更加普遍，需要行业人员不断研究完善施工技术规范，更好的发挥该技术的优势。

参考文献

- [1] 庞颂贤, 童育强. 贵州坝陵河桥钢桁梁施工架设研究[C]//中国公路学会桥梁和结构工程分会, 江苏省苏通大桥建设指挥部, 中交公路规划设计院, 江苏省公路学会. 中国公路学会桥梁和结构工程分会2006年全国桥梁学术会议论文集. 中交公路规划设计院, 2023: 8.
- [2] 李敬能. 大跨度钢桁梁浮托顶推法架设施工技术研究[J]. 交通世界, 2023, (29): 138-140.
- [3] 吕天文. 大跨度双幅钢桁梁“拖拉+横移”施工技术研究[J]. 工程技术研究, 2023, 8(17): 50-53.
- [4] 谈闯. 跨航道大跨钢桁梁浮拖架设关键技术研究[D]. 南京林业大学, 2023.
- [5] 刘强华. 钢结构桥梁两种浮拖施工工艺的对比研究[J]. 工程建设与设计, 2022, (01): 139-141+146.