

新型内河航道水上作业和检修一体船设计与应用研究

朱红亮¹, 蔡福海², 杨广霖³, 朱佳研³

(1. 常州市港航事业发展中心 副主任室, 江苏 常州 213000;

2. 大连理工大学江苏研究院有限公司 重工机械事业部, 江苏 常州 213164;

3. 江苏路航建设工程有限公司 总经理办公室, 江苏 常州 213000)

摘 要:在内河航道桥梁的检测过程中,目前通过在桥墩上或者船舶上搭建脚手架建立检测平台开展检修作业,对部分桥梁也可采用桁架式桥梁检测车,将设备和人员送到桥梁底面开展检测。搭建脚手架所需时间较长,存在较大安全隐患,而采用桥梁检测车方式需要封锁道路,无法适用于缆索桥、斜拉桥等桥梁。针对这些问题,提出了一种适用于内河航道水上作业和检修一体船设计与应用技术,在专用船舶上集成了大吨位折叠臂起重机和模块化高空作业平台,在一条船上可以完成护岸吊装和桥底检测施工,在安全性、效率、适用性等方面有较大提升,具有较大应用推广价值。

关键词:内河航道;桥梁检测;一体化船;模块化设计

中图分类号:U662

文献标志码:A

文章编号:2097-0358(2022)3-0028-05

0 引言

内河航道水上作业和桥梁检测存在水、陆交叉作业^[1],施工和检测难度较大。传统方法主要通过桥墩上或者船舶上搭建脚手架建立检测平台开展检修作业,所需时间较长,且存在较大安全隐患。部分桥梁通过桥梁检测车将设备和人员送到桥梁底面开展检测,但此方法需要封锁道路,也无法适用于越来越多的缆索桥、斜拉桥等桥梁。因此,现有检测工艺存在较大限制^[2]。黄若昀等提出了将新型无人机检测技术应用在桥梁工程质量检测中,并以独塔空间素面混合梁斜拉桥为例,对新型无人机检测技术的主要优势进行分析,对桥梁外观开展检测^[3-5],但没有探讨对桥梁底面开展检测的方法。余加勇等采用多旋翼无人机进行贴近摄影测量,以获取桥梁桥塔结构混凝土表面高清图像,构建基于深度学习 Mask R-CNN 算法的裂缝自动识别和定位模型,实现桥梁结构裂缝的远程、非接触、自动化识别和定位^[6]。其中,对桥梁底面可以采用专门的上置相机云台开展摄像工作。上述文献主要针对桥梁检测的具体检测技术开展分析,针对如何搭建检测平台的研究较少,而这些搭建平台的技术和方法,却是在实际检测过程中不可避免的问题。因此,本文基于模块化设计技术,开发了集成折叠臂起重机、模块化高空作业平台和施工船舶为一体的作业船,使其安全性、效率、适用性都有较大提升,具有较大推广价值。

1 设计原理

本内河航道水上作业和检修一体船采用较为现代化的船舶配置,主要包含船舶、大吨位折叠臂式起重机、模块化高空作业平台三大模块,其主要模块组成如图 1 所示。

模块 1 船舶作为水上交通工具,是实现起重机吊装作业、高空作业和运输物资的载体,其主要参数如表 1 所示。

模块 2 大吨位折叠臂式起重机,用以实现各类物资船舶内、岸-船区域的吊装和转运。

模块 3 模块化高空作业平台,该平台为 5-10-5 t 型载重剪叉式高空作业平台,用以实现检测人员、检测设备的举高和运载作业,且可以直接举高到桥梁底部开展检测作业。

上述系统联合作业,将物资通过起重机吊装到船舶上,尤其是可以将比较重的检测装备直接通过起重机放到高空平台上。当需要检测某座桥梁底部时,船舶直接开到桥梁下面,升高高空作业平台,可使检测人

收稿日期:2022-07-29

基金项目:江苏省交通运输科技项目(2021Y19,2022Y22-1)

作者简介:朱红亮(1963—),男,江苏常州人,常州市港航事业发展中心副主任室正高级工程师。

员更加安全、快速、高效地开展桥底检测作业,而且适用于各类桥梁,克服了现有脚手架施工和桥梁检测车的效率低、安全性差、周期长等一系列问题。

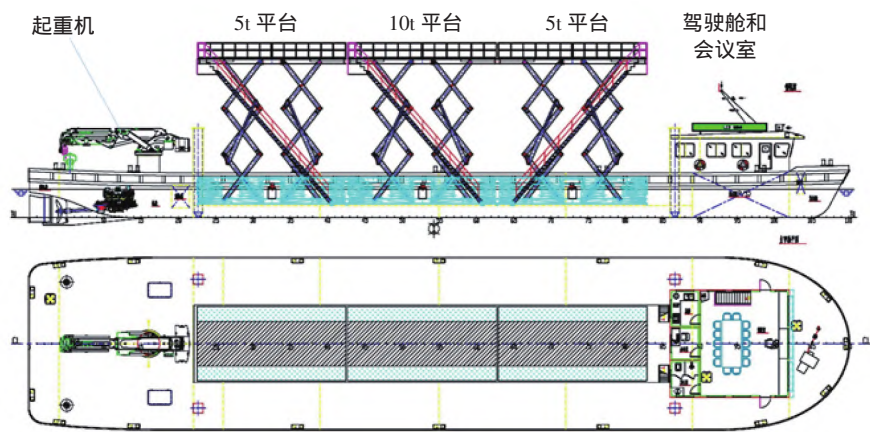


图 1 模块组成图

表 1 一体化船主要技术参数

项目		参数	项目		参数
船舶基本 参数	航区	A 级	折叠臂 起重机参数	最大起升力矩	346 t·m
	最大船长	55.15 m		最大起重量	70 t
	总长	55 m		最大工作幅度	19 m
	总宽	11.6 m		系统额定压力	30 MPa
	梁柱间长	53.3 m		系统流量	120 L/min
	水线长	54.3 m		配重	10 t
	船宽	11.5 m		回转方式	360°全回转
	型深	3.0 m		吊钩配置	70 t + 16 t
	设计吃水	1.9 m		自重	10 t
	自由航速	14.0 km/h	高空作业 平台参数	长 × 宽	30 m × 9 m
		船员人数	4 人	作业高度范围 (甲板起)	0~7 m
		主机功率	2 × 140 kW	额定载荷	10 t × 1, 5 t × 2

2 关键技术

(1)强度和稳定性加强设计技术。由于本设计的起重机最大吨位达 70 t,且国内缺乏此类折叠臂起重机在船舶上应用的参考,因此给项目的设计带来较大挑战。为切实加强起重机在作业过程中的强度和稳定性,项目组对起重机基座进行了重点加强设计。

项目组采用 MSC.Patran 建立有限元模型,以基座有效作用平面矩形(a × b)形心为中心,向四周分别扩展至少一倍该矩形相对应的长、宽距离(3a×3b),垂向从基座面扩展至甲板之下的第一个平台甲板或至少 D/2 处(D 为型深),建立了垂向至主甲板向下 1 915 mm 范围的整个结构。

舱段模型如图 2 所示,最大吊重为 70 t,吊机自重为 26.46 t,最大垂向力为 96.46 t,最大倾覆力矩为 346 t·m。在本计算中,项目组将起重机受力作用点与底座节点采用 MPC 进行连接,受力作用点选择吊机轴线中心位置,垂向距离甲板高度为 625 mm,纵向位于 Fr16,横向位于距中 0 mm 处,在 MPC 位置与船艏方向每 45°创建 1 个参考坐标系 coord0~coord7,每 45°为一个工况,共 8 个计算工况,每个工况参照相应的坐标系。许用应力按照文献《钢质内河船舶建造规范》局部强度衡准^[7],LC01 舱段有限元应力云图如图 3 所示,最大应力在基座加强筋板处,但不超过 86 MPa。各工况最大应力及计算结果如表 2 所示,起重机支撑结构强度满足规范要求,并通过了船舶 ZC 的审核。

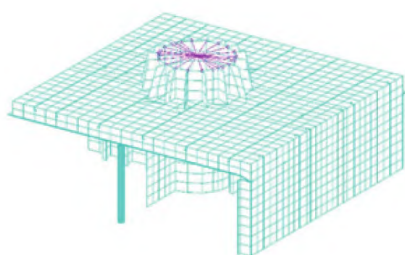


图2 舱段有限元模型

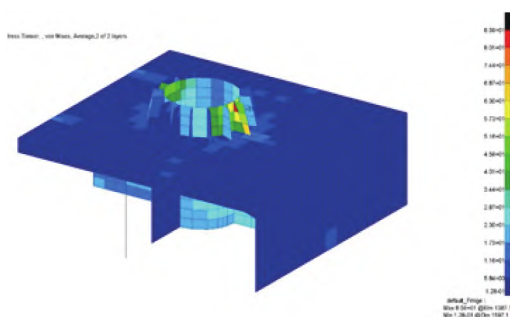


图3 LC01 舱段有限元应力云图

表2 各工况最大应力及计算结果

结构分类	应力种类	许用值/($\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$)	实际最大值/($\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$)
舱段相当应力	σ_e	155	85.9
舱段剪切应力	τ	91	44.5
骨材	σ_e	155	65.7

(2)两级伸缩式船舶定位桩设计开发技术。在吊装和平台举高作业时,船舶的稳定性至关重要。为加强船舶稳定性问题,目前主流的施工船舶一般采用单油缸升降式定位桩^[8]。为了拓展船舶的适用性,解决不同航道深度下船舶的稳定性,同时兼顾通航要求,项目组设计了四根两级伸缩式船舶定位桩。

如图4所示,油缸采用两级伸缩。内部油缸行程达3 000 mm,作为第一顺序工作油缸伸出,当河底深度不超过3 000 mm时,作为固定船舶使用;当需要继续伸出油缸时,外部油缸伸出,行程也可以达3 000 mm,总共为6 000 mm的伸缩行程,满足航道要求。当船舶过桥时,可以操作外部油缸向下伸出,油缸底部可以超出传递1 000 mm,低于水面以下2 100 mm,定位桩顶部不超过船高,方便船舶整体通行。

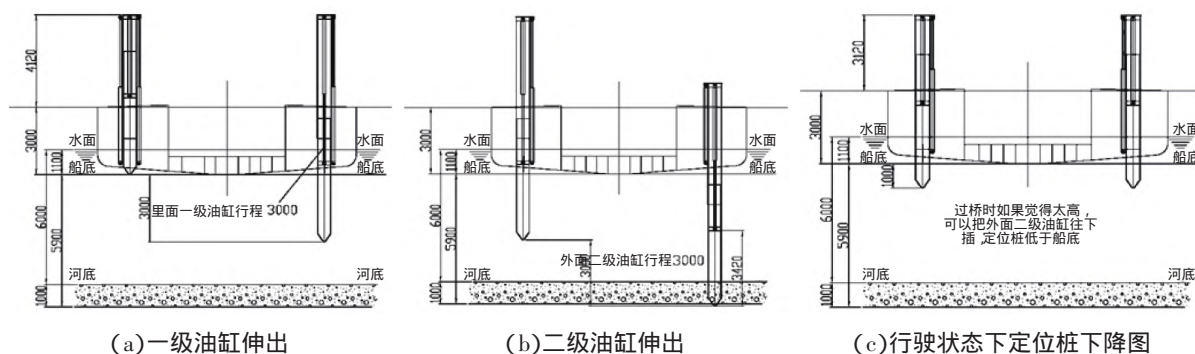


图4 伸缩式两级船舶定位桩设计

(3)一体化船智能监控系统设计技术。由于水上作业和桥梁底部作业环境狭小,起重机设备相关作业动作以及高空车在桥底下的作业工况就非常复杂。因此,为满足安全作业需求,智能监控系统非常有必要^[9],其总体设计框架如图5所示。

硬件终端子系统主要用于数据采集和人机交互,能够实现对起重机的吊重重量、力矩、幅度、起升高度、风速、倾角、回转角度等作业工况的实时监测;起重机力矩限制,比较实际吊重、力矩百分比与额定吊重、力矩百分比,自动报警和发送超载信息;高空车高度和垂直度预警;黑匣子记录,实现高可靠性存储,便于下载及查看。服务平台子系统主要用于平台监控和诊断、数据分析,完成工作状态检测、异常报警、故障诊断等。

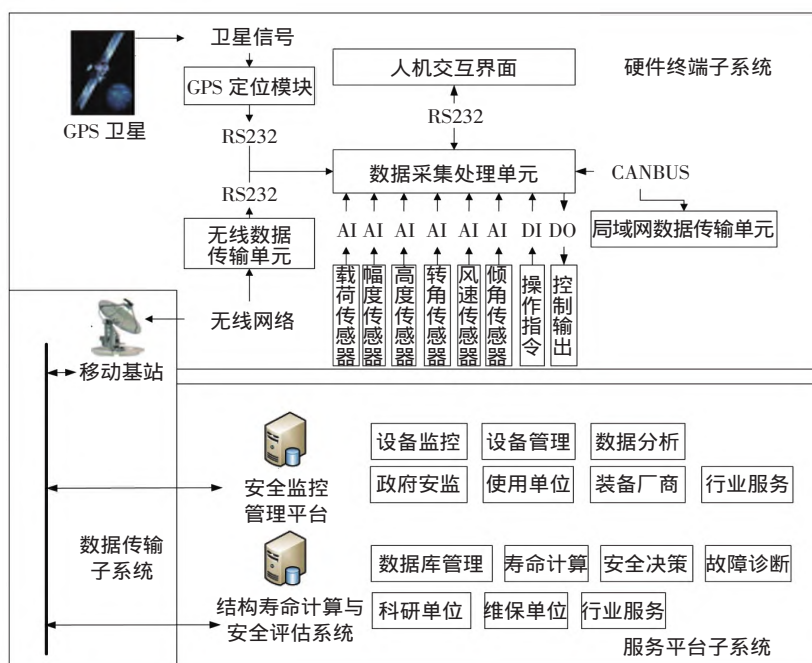


图 5 智能监控系统设计框架图

3 应用优势

项目组以常州市干线航道防范船舶碰撞桥梁专项整治工程为依托,对阳湖大桥开展桥底检测应用示范。一体船适用于各种桥梁,若按年检 100 座桥梁计算,不同检测方式的数据对比如表 3 所示。

3.1 提高特殊桥梁桥底检测的安全性

一体船的使用可以改变既有的脚手架施工方式,消除人员工作的安全性问题。水上作业一体化船具备高度作业的功能,可以直接将船舶停靠在桥面下,开启高空作业平台,开展桥底检测和维护作业。高空作业平台具有高度的安全性和智能化监控系统,能有效保障平台作业安全。

3.2 增强桥梁维护和检测施工的便利性

水上施工不便是桥梁维护和检测中的一大难点问题。水上作业一体化船具备大幅度的吊装功能,可以直接在桥下开展斜拉索、小型板梁、板式护岸、工业化护岸、整体式航标等单件 10 t 以内的施工作业,不需要额外租赁起重机在桥面上封锁道路开展吊装作业。

3.3 提升项目施工全过程的可追溯性和科学性

系统完善的管理手段是提升项目施工质量的有效保障。一体船依托完善的智能化监控系统,将施工过程中的工程状况、人员操作等详细记录,能够追溯所有工程的数据,使各个环节均可做到有据可查、有据可依,提升了施工的标准化、智能化和科学性,为防止安全事故发生提供科学依据。

表3 桥梁检测车、脚手架施工、本项目方案应用情况对比

项目	桥梁检测车	脚手架施工	本项目
安全性	高	低	高
封锁道路	封锁	不封锁	不封锁
效率	适中	低	高
采购成本/万	200	220	300
施工成本/万	100	120	20
能耗/万	10	0	10
施工周期/(天·座 ⁻¹)	2	5	0.5
适用性	不适用缆索桥梁	不适用桥高水深	适用绝大部分桥梁
节能	标准值	0	比标准值降低 80%

4 结束语

以传统的方法开展内河航道水上作业和桥梁检测,施工难度大,安全隐患多。为有效解决施工中的现实困难,项目组开发了新型内河航道水上作业和检修一体船。目前,该船已经通过了船舶 ZC 的审核和国家海事局的检验,获得了适航证,并在常州市内河航道开展了多项示范应用,解决了传统的内河航道施工和检修过程中脚手架施工和桥梁检测车的安全性、高效性、适用性等多个问题,具有较大的推广价值。

参考文献:

- [1]江苏省常州市航道管理处.水上混凝土运泵一体化工法及资源综合利用技术在绿色航道整治工程中的应用[J].交通节能环保.2016(2):7-13.
- [2]王航海.桥梁检测车在桥梁检测中的应用研究[J].黑龙江交通科技.2018(5):128-129.
- [3]黄若昀,范昊罡.新型无人机检测技术在桥梁检测工程中的应用策略[J].中阿科技论坛(中英文).2022(8):140-144.
- [4]马晓冬.桥梁检测技术及发展趋势分析[J].绿色环保建材.2021(10):81-82.
- [5]包琦.新型无人机检测技术在桥梁检测工程中的应用[J].甘肃科技纵横.2021(6):31-33.
- [6]余加勇,李锋,薛现凯,等.基于无人机及 Mask R-CNN 的桥梁结构裂缝智能识别[J].中国公路学报.2021(12):80-90.
- [7]中国船级社武汉规范所.CCS《钢质内河船舶建造规范》(2009)英文版通过专家审查[J].中国船检.2009(9):86.
- [8]刘洪波,吴平平.船舶定位桩升降装置[J].化学工程与装备.2018(2):155-156.
- [9]蔡福海,李树清,李梦然,等.塔机安全监控与评估系统开发及应用[J].中国特种设备安全.2014(6):16-19.

(责任编辑 张 利)

Research on Design and Application of a New Type of Surface Operation and Maintenance Vessel in Inland Waterway

ZHU Hong-liang¹, CAI Fu-hai², YANG Guang-lin³, ZHU Jia-yan³

(1. Deputy Director's Office, Changzhou Port and Navigation Business Development Center,
Changzhou 213000, China;

2. Heavy Industry Machinery Division, Jiangsu Research Institute Co., Ltd. of Dalian University of Technology,
Changzhou 213164, China;

3. General Manager's Office, Jiangsu Road and Waterway Construction Engineering Co., Ltd.,
Changzhou 213000, China)

Abstract: In the process of inspecting inland waterway bridges, the inspection platform is currently set up by building scaffolding on piers or ships to carry out maintenance operations, and truss bridge inspection vehicles can also be used for some bridges to deliver equipment and personnel to the underside of the bridge for inspection. The scaffolding takes a long time and poses a major safety hazard, while the use of bridge inspection vehicles method requires road closures and cannot be applied to bridges such as cable-supported bridges and cable-stayed bridges. In response to these problems, a kind of design and application technology for inland waterway surface operation and maintenance vessel is proposed, integrating a large tonnage folding boom crane and modular aloft work platform on a special vessel, on which the construction of revetment lifting and bridge bottom inspection can be completed. It can be significantly improved in terms of safety, efficiency, and applicability, which is of greater application and promotion value.

Key words: inland waterway; bridge inspection; integrated vessel; modular design