

# 小清河绿色智能船舶关键技术研究

张道南<sup>1</sup>, 裴志勇<sup>2</sup>, 邓超风<sup>1</sup>, 于华<sup>1</sup>

(1. 山东海运股份有限公司, 山东 青岛 266034;

2. 武汉理工大学绿色智能江海直达船舶与邮轮游艇研究中心, 湖北 武汉 430063)

**摘要:** 为顺利推进小清河复航工程, 本文论证分析了小清河适航船型, 对小清河绿色智能船舶关键技术展开研究, 以引领内河船舶技术发展和内河航运市场。

**关键词:** 小清河; 绿色船舶; 智能船舶; 船舶技术

**中图分类号:** U66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 11—0133—02

小清河是横贯鲁中地区的一条东西向重要航道, 其流域地处山东省腹地, 发源于山东省会济南市, 经历城、章丘、邹平、高青、桓台、博兴、广饶、寿光, 在羊口以东注入渤海莱州湾, 全长 237km。

近年来, 国家对内河航运发展十分重视。2011 年, 国务院出台了“关于加快长江等内河水运发展的意见”; 山东省政府也不失时机地出台了“关于贯彻国发〔2011〕2 号文件加快内河水运发展的意见”, 以及《山东省内河航道与港口布局规划》, 将小清河作为山东省内河“一纵三横”水运主通道之一。2012 年 10 月, 省政府正式批复了《小清河流域生态环境综合治理规划方案》(以下简称《规划方案》), 计划将小清河打造成一条集防洪、生态、航运、景观旅游、文化于一体的黄金水道。

2019 年 4 月 10 日, 山东海洋集团有限公司与中国铁建投资集团组成的联合体中标小清河复航工程 PPP 项目。项目合作期 30 年, 其中建设期 3 年, 运营期 27 年, 采用政府可行性缺口补贴 + 使用者付费回报机制, 总投资 137 亿元。小清河复航工程于 2020 年 2 月 29 日正式开工建设。

结合小清河复航工程的规划设计, 量身定制、创新研发通用性强、适货性好, 以节能、环保、经济、高效为特征的适用船型, 助推小清河航运蓬勃发展。攻克低速电动船型、高效电力推进、结构轻量化、箱式电源安全性, 智能能效、智能机舱、智能桅杆等关键技术, 打造节能高效、安全可靠、智能协同的生态运输示范线, 实现交通运输新旧动能转换, 促进国家“山东半岛蓝色经济区”、“黄河三角洲高效生态经济区”两大战略区和省会城市群经济圈建设。

## 1 小清河船舶设计理念

小清河船舶的开发要具有时代特征, 符合当前经济和社会发展的要求。结合作者们的科研经验和总结体会, 小清河船舶的设计开发基于“4E”设计理念, 即以节能、

环保、经济、高效为船舶主要特征, 这四个词的首字母均是 E, 称为“4E”船舶设计理念, 如图 1 所示。

(1) 节能: 船型开发关键, 体现船舶优异性能; 通过新技术研发及应用, 提升船舶产品核心竞争力;

(2) 环保: 当前经济和社会发展的需要, 符合时代发展主旋律, “碳达峰·碳中和”战略部署的需要;

(3) 经济: 当前严酷的航运市场中, 船舶生存发展之根本, 立足市场之利器, 更是复航工程成败之关键;

(4) 高效: 提高运输效率, 降低物流成本, 为沿线经济和社会发展提供可靠的航运支撑, 占据更多市场份额, 促进小清河航运蓬勃发展。



图 1 小清河船舶设计理念

## 2 小清河船型探讨

小清河复航有其特殊性, 使得小清河适航船舶也与众不同。首先, 复航后航道收费、增加一次装卸等因素无疑为复航船舶运营增加了难度。其次, 小清河沿线现有运输方式为海港中转公路的模式, 公路运输的快捷、便利在短距离运输中占据一定优势, 复航后要从现有运输格局中抢占部分市场, 有一定难度和过程。

(1) 江海直达船型。当前船舶规范体系有江船和海船之分, 江船由于频繁靠离码头, 对操纵性有着较高要求, 海船遭受的风浪较大, 对耐波性和结构强度要求要高。为有序推进长江黄金水道建设, 对长江口到大小洋山/宁波舟山的特定航线考虑海上波浪状况基于江船

出海理念制定有特定航线江海直达船舶建造规范,小清河出海至莱州湾波浪状况及相应的江海直达船舶建造规范尚在研究中,暂没有有效地江海直达船舶规范可依,须待相关规范和政策落实后方可进行该类船舶的设计建造。

(2) 江船。江船的设计制造都比较简单,且配置要求不高,造船成本较海船要低一些。但江船只能在小清河航道内航行,货物须从沿海港口用海船运抵河港,再用江船转运,航道收费、码头装卸费等增加了船舶运营成本,降低了运输效率,增加了损耗。综合运输分析表明,江船转运方式的经济性不佳。

(3) 海船。航道水深及桥梁净空高限制,使得能进入到小清河的海船尺度较小,最大载货量 2000 吨,造船成本较高,同时船员配员较多,船员工资标准也高,这些因素使得营运成本数倍于江船。综合运输分析表明,海船建造成本高,船员配员多,工资基准高,小清河航线采用海船运输经济性差。

(4) 江船兼海驳船型。综合考虑各种因素,充分发挥江船和海驳的优势,创新研发江船兼海驳船型,实现江海联运。在小清河内是电动江船,配 4 名内河船员,在河口港跟海拖接驳,以一顶一方式航行,避免货物二次转运。该船型在小清河航道内可实现零碳排放,同时进行智能能效、智能倒升桅等智能技术示范应用,实现船舶智能化。经充分论证分析,该船型较适合用作小清河复航后的营运船舶。

### 3 小清河绿色智能船舶关键技术

为使小清河船舶具有强大生命力,需攻克低阻船型、绿色动力以及智能装备等关键技术。

#### 3.1 小清河低阻船型关键技术

为推进“碳达峰·碳中和”目标达早日成,内河船舶行业掀起电动船热潮,集装箱换电模式兴起,一方面有效减少碳排放,也使得机舱区缩短,增大载货量,另一方面机舱更简洁,易于维保。集装箱电池容量有限,为保证一定的续航力,低阻船型的研发要比常规燃油动力船舶重要得多。

(1) 总布置优化。针对小清河电动船舶特性,进行模块化分区划分,通过布置优化分析,以重力与浮力差最小为目标,进行总布置优化研究。

(2) 低阻高效首型优化。采用 STAR CCM+ 软件实现船舶/船桨绕流场的数值模拟并基于数值结果进行船舶阻力、螺旋桨敞水性征以及船舶快速性的数值预报。通过对浮心纵向位置、进水角以及中纵剖线抬升角的优化,获取低阻高效首型。

(3) 外旋双尾鳍尾型优化。采用外旋双尾鳍尾型,通过对尾鳍形状、尾鳍间距、尾鳍角度的优化分析,获取高效、低推力减额尾型。

(4) 结构轻量化设计技术。开展载荷结构一体化

分析、结构安全性评价以及结构优化设计技术研发,在安全可靠前提下实现结构轻量化,降低建造成本,增加载货量,提升盈利能力。

#### 3.2 绿色动力关键技术

(1) 电力驱动系统优化设计。针对当前电池产业发展动态、船用电池产品相关技术标准和航道营运动力需求,在明确对电力驱动系统核心组成部件及设计要求前提下,完成电力驱动系统总体技术方案,安全可靠地使用电池动力输出。

(2) 船机桨匹配技术。对电动机各工况下电能供应过程进行分析,确保其安全可靠运行;对动力系统稳态、动态特性进行分析,确保电动机提供稳定的动力源;开展船机桨匹配特性研究,改善各工况下电动机动力系统的动态特性。

(3) 电力系统拓扑结构设计。根据所选电池组以及电池管理系统,兼顾船舶整体工作性能的要求,结合智能信息处理技术,搭建实时电力微网系统、能量管理可视化系统、安保监控系统等,完成整船电力系统的拓扑结构设计。

(4) 高安全性箱式移动电源。进行箱式移动电源安全性、集成设计与接口匹配以及智能控制等研究工作,设计大容量、高安全、高稳定、易控制的箱式移动电源,为小清河船舶提供稳定、可靠动力源。

#### 3.3 智能装备关键技术

(1) 智能能效系统。构建计及自由面、浅水效应、船舶航态以及船桨耦合的船舶阻力与浮态的数学模型,攻克浅水、多体耦合、粘性流等关键技术,实现船舶快速性及能耗预报,通过姿态传感器实时感知船舶浮态,及时调整至最佳航态,以有效实现节能。

(2) 智能倒升桅系统。将红外测距、液压自动控制等技术集成,开发智能感知、智能控制于一体的智能桅杆系统,视桥梁净空和船舶状况智能倒桅升桅,有效提升船舶航行安全可靠。

### 4 结论

针对小清河航道、码头、货源状况,创新研发江船兼海驳船型,攻克限制航道电动船型技术、绿色动力技术和智能装备等关键技术,成功研制小清河绿色智能船舶,具有节能、环保、经济、高效的特点,推进内河船舶技术发展,形成内河电动船示范。

参考文献:

- [1] 国务院关于加快长江等内河水运发展的意见 [Z].2011-1-21.
- [2] 关于贯彻国发〔2011〕2号文件加快内河水运发展的意见 [Z].2011-11-25.
- [3] 山东省内河航道与港口布局规划 [Z].2012-6.