绿色动力公务艇总体设计研究[[1]](#footnote-1)

王世杰，徐 斌

WANG Shijie，XU Bin

（江苏省船舶设计研究所有限公司，江苏 镇江 212003）

摘 要：为大力推进内河公务艇使用新能源、清洁能源作为绿色动力源，研发设计了国内首艘大型内河绿色动力公务艇。首先阐述了新的绿色动力公务艇总体设计研究的必要性和绿色动力技术在内河公务艇上的应用前景，并以国内首艘大型内河绿色动力公务艇—45 m绿色动力港航应急指挥艇为研究对象，确立了该艇的设计研究脉络，在权衡经济性、功能性、主尺度、总体布置的基础上，选用合适的新能源、新材料，并确定合适的航速和续航力。重点研究了混合电力推进系统的空间布置和原理，以确保实现绿色动力公务艇在力求做到节能减排的同时满足使用需求，性能可靠。实船试航结果表明：该艇采用混合电力推进系统的设计是合理的，在混动模式或纯电模式下的最大航速和续航力均达到并略超过设计指标；在电池电力驱动模式下，会议室、指挥室、驾驶室等主要功能舱室噪声指标可控制在50~52 dB以内。

关键词：绿色动力；公务艇；总体设计

中图分类号：U662.2 文献标志码：A

0 引言

中国于2016年，首次提出长江大保护政策。长江作为内河航运水系的重要组成部分，拥有独特的生态系统，是我国重要的生态宝库。当前和今后相当长的时期，我们要把修复长江生态环境摆在压倒性位置，共抓大保护，实现生态优先、绿色发展[1]。为进一步落实以上政策，内河船舶绿色化发展被提上议事日程[2]。2022年国家工业和信息化部等五部门联合发布了《关于加快内河船舶绿色智能发展的实施意见》，意见中明确提出“优先发展绿色动力技术”。绿色动力技术不仅包含液化天然气（LNG），还包括了电池、甲醇、氢燃料等绿色动力关键技术。公务艇作为水岸环境保护的重要执法装备，目前95%以上公务艇还在使用传统燃油动力，在绿色化、智能化等方面与经济社会绿色、低碳发展和实现“双碳”目标要求相比仍有一定差距[3]。同时，近年来密集出台的国际和国内海事法规及规范彻底改变了传统的船舶设计和建造理念。对于船型研发、船舶设计、制造、拆解以及船用配套设备都提出了严格的技术要求。设计是先导，船舶设计人员必须具备良好的环境意识。因为船舶设计人员的环境意识决定了船舶产品的绿色度[4-5]。

基于以上现状，寻找可行的、可持续发展的内河公务艇的绿色化发展之路显得尤为重要，研发设计新的性能可靠、性价比高、满足各种特定使用需求并可持续推广的绿色动力公务艇势在必行。为此，本文首先，梳理了内河公务艇绿色化发展思路，说明进行绿色动力公务艇总体设计研究的必要性；然后，从绿色动力技术特点和公务艇设计特点这2个角度入手分析绿色动力技术在公务艇上的应用前景；最后，从总体空间布置、结构材料、航速及续航力、电力系统空间布置等方面研究了45 m混合电力推进港航应急指挥艇的关键技术。

1 绿色动力公务艇总体设计研究的必要性

研究设计绿色动力公务艇源于国家战略。近年来我国各级职能部门为有效打击水上违法犯罪活动、及时处理水上突发事件及内河水利基础设施建设，尤其是长江大保护政策实施以来，日益重视内河公务艇的的建设，不断提高内河公务艇的性能和执法功能的提升，朝着尺度大型化、快速化、功能齐全化发展[6]。但绿色化发展理念刚刚树立，内河公务艇绿色化发展之路行进方向的确定显得尤为重要。本文在开展研究之初梳理了发展思路框架，见图1。

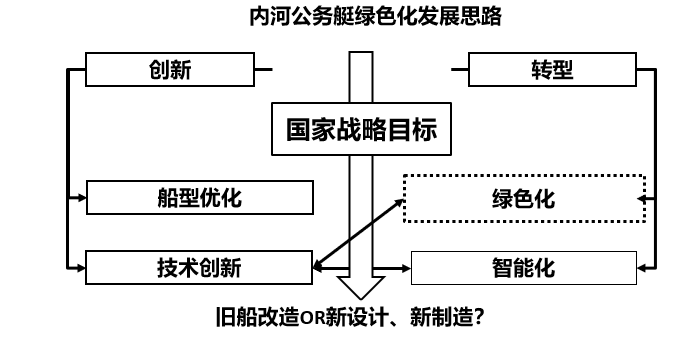


图1 内河公务艇绿色化发展思路框架图

通过图1发现，内河公务艇想走绿色化发展之路，需要进行创新和转型。经过调研发现，在用的公务艇大多已经接近报废期，其余可以继续使用的公务艇因空间结构布置不适合改造成绿色动力系统，或可操作，但性价比较低。因此需要逐步淘汰服役船艇，为适应新的执法需求和落实国家环境保护政策，不断建设使用绿色能源作为动力源的内河公务艇。并通过对公务艇的设计特点和绿色动力系统特点的研究，确定新的内河绿色动力公务艇采用何种清洁能源作为动力源才能具有较好的发展前景。

2 绿色动力系统在公务艇上的应用前景分析

2.1 绿色动力系统特点

船舶动力系统是指保证船舶正常航行、作业、停泊及船员、旅客正常工作和生活所必需的设备及系统的综合体，主要包括船舶推进系统、辅助系统和自动化系统等。绿色船舶动力系统应具备环境友好性、技术领先性和经济最优性等3个基本特性[7]。符合以上特征的绿色动力系统不仅包含LNG（液化天然气）动力，还包括电池动力和甲醇、氢等动力技术。目前在船舶绿色动力系统中应用的绿色动力特点及其在内河船舶上应用现状对比见表1。

表1 绿色动力特点及其在内河船舶上应用发展现状[2,8,9]

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 绿色动力源 | 与传统燃油排放量对比 | 不足 | 在内河船舶上应用发展现状 |
| 1 | LNG发动机  （纯气动力、气电混合动力） | ①碳排放量减少20%~25%；②氮氧排放量减少80%~85%；③  硫排放量减少99%以上 | ①有相当碳排放量，从温室气体减排来看，不尽理想；②需液态罐体储存，在船上占用位置较大 | ①使用LNG的动力装置和加注技术相对已经成熟；②可以在内河运输船上推广使用；③加注站配套暂不完善。 |
| 2 | 甲醇发动机或  甲醇燃料电池 | ①碳排放量减少30%~50%；②  可大幅减少温室气体和颗粒物（PM）排放 | ①需进一步降低甲醛等非常规污染物排放；②需液态罐体储存，在船上占用位置较大；③目前加注不便 | ①甲醇与大多数船舶发动机兼容，现有发动机使用甲醇的转换成本也明显低于其他替代燃料；②有望在内河运船上推广使用 |
| 3 | 氢燃料电池 | 零碳 | ①液态罐体储存，在船上占用位置较大；②氢气罐体可承受压力有限，需改进 | ①氢燃料电池动力技术有望在客船或货船、公务船上上推广使用；②加注站建设暂不完善 |
| 4 | 插电式或换电式电池 | ①零排放，技术较成熟；②安放在底舱或甲板；③充电或换电容易实现 | ①废弃电池后期处理、循环再利用有待研究；②电池能量密度低、重量大，价格偏高 | 在经费允许的情况下，宜在航速要求不高的公务艇上推广使用 |

由表1可见，现在船舶行业在多方面探索绿色动力技术在各种船型中应用的可能性，目前对于内河船舶而言，沿途设立充电桩更易实现。为此，尽管电池电力推进并不是十分完美，但是在所有可选择的替代能源中，以插电式、换电式电池作为动力源的电动船舶也是内河航运发展的趋势所在。

换电式电池集装箱适合放在甲板面较大的内河运输船，而插电式的磷酸铁锂电池单元包可以布置在舱内，其比较适合首尾甲板面积相对较小的公务船上推广使用。目前，在船用动力电池、电池管理系统等技术集成和优化，推进高效节能电机、电力系统组网、船舶充换电等技术相对比较成熟，船舶电池动力总成能力和安全性能也相对有保障，在经费允许的情况下，可以在航速要求不高的公务船上推广使用电力推进系统[10]。

2.2 内河公务艇的设计特点

内河公务艇是国家履行内河航道执法事务、河道建设和管理的重要平台和载体，各职能部门在不同场合下有不同的船型需求，例如巡逻艇、航标船、应急指挥艇、水政艇、公安巡逻艇等，长度从7~45 m均有。不同使用功能的公务船对航速和续航力的要求均有所不同，如高速执法巡逻艇航速可以达到30~70 km/h，也有用于日常航道巡查和维护的低速公务船艇，航速在15~25 km/h。

内河公务船艇往往受内河航道宽度、桥梁高度的限制，在满足使用功能前提下，布置尽可能紧凑，主尺度尽可能控制在满足布置需求、航道内可灵活回转、造价预算允许范围内。在有限的甲板面上去掉甲板室的布置空间，可利用的主甲板露天甲板面积较小，主甲板以下的空舱相对较多，因此更适合选择主船体舱内设置电池舱，摆放磷酸铁锂电池单元模块。

通过对绿色动力特点和公务艇设计特点的研究，决定研发设计国内首艘应用新技术、新材料、提供超静音会议模式、绿色智能化的港航综合应急指挥移动指挥平台—45 m绿色动力港航应急指挥艇，使用混合电力动力系统。

3 45 m绿色动力港航应急指挥艇

3.1 总体设计特点

根据建设方提出的使用需求，通过综合分析权衡经济性、实用性、安全性、快速性、环保性等多方面设计要点，整理出该船的总体设计研究脉络图，见图2。

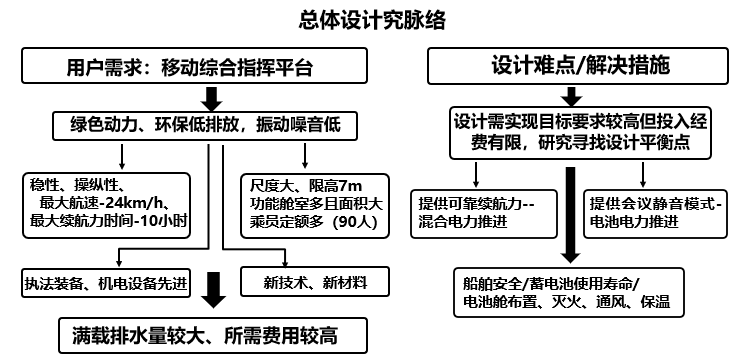


图2 总体设计研究脉络图

通过图2，结合使用任务需求，梳理出该艇总体设计研究的难点及解决措施。确定该艇总体设计特点如下：

（1）使用绿色动力技术。即采用共直流母线的混合电力组网模式，即将发电机组、锂电池组、交流岸电充电电源通过变流与控制设备并行连接至直流母排，可实现电力源的互备、互换及全船电力资源的共享。为船舶推进及船舶日常用电提供了更多的选择及更好的供电保障。此种模式既可以满足长距离航行的续航要求，又可以实现相对静音的运行模式[11]。

锂电池组通过双向DC变流设备连接至直流母排，实现了锂电池组的在线充电功能，同时交流岸电上船，即可完成对锂电池组的充电。该船混合动力电力推进系统位置构图见图3。

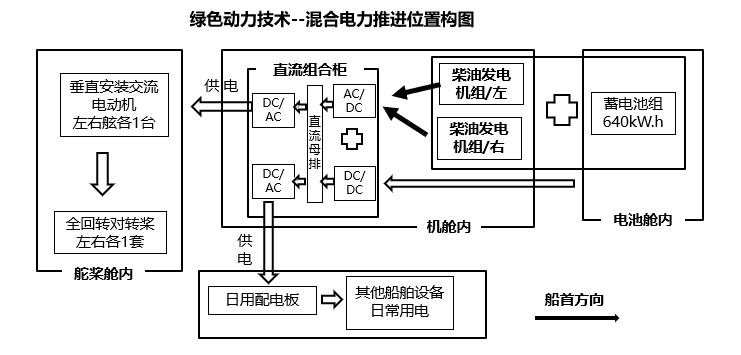


图3 混合动力电力推进系统位置构图

（2）采用全回转对转桨推进装置，推进电机直立式安装于舵桨装置之上，节约布置空间，提高推进效率同时，使公务艇本身具有良好的回转性和离靠岸的灵活性。

（3）搭载船载信息平台系统，可大幅提高船舶的智能化、自动化水平，为港航应急指挥管理工作提供可视化的调度指挥奠定基础。

（4）电气自动化配置设计。在功率管理系统，推进遥控及监测系统的相互作用与密切配合下，来实现电力推进系统自动化控制；配设储能与剩余里程监显和低电量报警功能，通过秘钥与权限设置，对模式应用及参数设置进行调整，通过触摸屏一键切换船舶3种运行模式—混合电力推进模式、纯电池电力模式、柴油发电机组发电供电模式。

（5）使用钢铝混合结构形式，保证主船体刚度同时减轻重量，节约能源消耗。

3.2 主要参数及总体布置

该船主要用于苏北大运河航段（内河B级航区），综合研究考虑该艇高度限制因素（洪水期桥梁通航高度，满载水线以上固定建筑物高度不超过7 m），主要功能舱室布置面积需求、空调系统、锂电池组等推进系统设备需要的布置空间等各方面因素确定该艇的总布置图，见图4。



图4 总布置图

该船主要参数如下：总长45.0 m，型宽8.0 m，型深2.7 m，设计吃水1.5 m，排水量~196 t，设计航速≥24 km/h，乘员90人。推进电机功率224 kW，2台，锂电池组电量640 kWh。

3.3 续航时间设计

该艇配备2台发电机，按通过电力负荷计算的方法分别核算该艇在设计航速24 km/h时混合电力推进模式下和纯电池向全船推进及日常用电提供电力模式下的续航时间，相关计算参数见表2。

表2 计算参数表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 用电设备名称 | 输出功率/kW | 传递效率/% | 实际耗电量/kW |
| 1 | 推进电机消耗总功率（P1） | 224×2 | 98 | 228.60 |
| 2 | 日用配电板 | 58.38 | 98 | 59.57 |
| 3 | 直流排实际耗电总量（P2） |  |  | 514.90 |
| 4 | 交流发电总量(P) |  |  | 560.00 |
| 5 | 直流排实际得总量（P3） |  | 98 | 548.80 |

具体计算方法如下：

（1）电站负荷率（全船推进有推进电机供电，日常用电负荷由锂电池供电状况下）P1/P3=83.3%，此时，日用配电板的供电（59.57kW）相当于由锂电池提供。

该艇配备锂电池总量为640 kW，放电深度按照90%考虑，双向DC效率为98%，最高航速下的续航时间为：640×90%×98%÷59.57=9.47 h。

若电站负荷率按照90%进行限定控制（由功率管理系统进行控制）时，电站负荷在提供给推进后仍有6.7%(90%-83.3%)的富余量供给日常用电，那么最高航速下的续航时间为：640×90%×98%×（1+6.7%）÷59.57=10.1 h。

由以上计算得知：最高航速时混合电力推进情况下，直流电站负荷率为83.3%，相应续航时间在9 h以上。直流电站负荷率为90%时，相应续航时间在10 h以上。

（2）会议模式（即由纯电向全船推进及日常用电提供电力），预定航速18~20 km/h，相应的总推进系统消耗的总电量功率分别为100 kW和140 kW。

相应的续航时间分别为640×90%×98%÷（59.57+100）=3.54h和640×90%×98%÷（59.57+140）=2.83 h

由以上计算得知：会议音模式下，预定航速在18~20 km/h时，续航时间约为2.83~3.50 h。

经过研究论证，本船配备的推进电机功率和锂电池组的电量配置是合适的，2种模式下的续航时间均能满足该艇的使用需求。

3.4 应用磷酸铁锂电池的特殊设计要求

近年来，立足于船舶行业低碳转型的需要，我国新能源船（含绿色动力公务艇）迎来了新的发展机遇。国内、国际海事法规、规范不断更新和完善，为应用磷酸铁锂电池船舶的总体设计研究提供技术支持和设计依据[12-14]。

（1）布置。对于长度大于15 m的纯电池动力船，推进用蓄电池应分设于2个舱，并不大于2 000 kWh。本艇采用混合电力推进，推进用蓄电池可以全部放在同一个电池舱内。且船长大于20 m时，蓄电池舱内的蓄电池箱与舱壁及上方甲板之间应留有足够的空间以利于蓄电池通风散热，但与舱壁的间距应不小于150 mm，距上方甲板应不小于500 mm。为避免碰撞的影响，电池箱只船体外板的水平距离应不小于500 mm。

（2）分隔。蓄电池舱与其他相邻处所之间舱壁和甲板应为“A-60级”，但与空舱、卫生间等无失火危险处所间等无失火危险的处所相临时，上述分隔可为“A-0级”。

（3）灭火。对于投影面积大于4 m2的蓄电池舱内应配固定式七氟丙烷灭火系统进行保护，同时适配相当数量的手提七氟丙烷灭火器。

（4）出入口和脱线通道，蓄电池舱的出入口应直接通向开敞甲板。对于净空高度大于2 m且人员可以进入的蓄电池舱，应至少设置1条脱线通道。

（5）通风系统。设置有效的动力通风系统或温度调节装置，通风导管独立且采用钢质或等效材质。无论运动或停止，电池舱都要处于安全允许范围内，应设置远程和就地控制。

4 结论

（1）45 m绿色动力港航应急指挥艇船型布局合理，外观简洁流畅，符合公务艇的形象，且配备必要的现代化办公、通讯设施及船艇信息管理系统，可以满足其实现高等级航道联合执法及指挥功能；具备多人同时参加行政指挥和中型会务接待的能力。

（2）动力系统采用绿色混合电力推进系统，经系泊试验和航行试验证实，电推系统运行平稳，航速和续航力均达到并略超过设计指标，通过实船证明了公务艇采用混合电力推进系统是可以可行并且可靠的，可以在后续公务艇的设计中继续推广应用。同时，做到油污水、粪水经收集处理后，在岸上指定地点回收，整船设计做到了节能减排，实现智能化、绿色化的目标。

（3）实船试航结果表明：该艇性能优良，具备相对静音的会议运行模式，满足船上应急指挥管理基本无噪声干扰的使用需求。会议室、指挥室、驾驶室实测指标在51 dB左右。

（4）当今发展环境下，要探索要增强绿色船舶设计的理念，绿色船舶代表着船舶的高能效、低排放、低污染、安全健康、并贯穿于船舶生命周期的各个环节。

参考文献：

[1] 肖金成, 刘通. 长江经济带: 实现生态优先绿色发展的战略对策[J]. 西部论坛, 2017, 27(1): 4.

[2] 东亚, 王森. “双碳”背景下绿色船舶减排路径探索[J]. 航海, 2023(2): 2-4.

[3] 王晨, 王运龙. 公务艇技术经济性评价指标分析及论证[J]. 船舶, 2013(6): 1-3.

[4] 中国船级社. 绿色船舶规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2012.

[5] 史婧力. 绿色航运的发展方向[J]. 中国船检, 2012(11): 78-79.

[6] 王世杰. 43 m内河新型高速水政执法艇设计[J]. 江苏船舶, 2021, 38(5): 8-10.

[7] 赵同宾, 刘张超, 李策略, 等.绿色船舶动力系统集成技术创新及应用[J]. 船舶与海洋工程, 2018, 34(3): 33-38.

[8] 秦琦, 王宥臻. 全球新能源(清洁)船舶及相关智能技术发展[J]. 船舶, 2018, 29(增刊1): 29-41.

[9] 孙百洵, 杨国刚, 刘新宇, 等. 海上风电制氢与氢能动力船舶应用综合场景设计与经济性分析[J]. 热力发电, 2023, 52(8): 26-31.

[10] 惠卫国, 易光宇, 吴健翔. 纯电池动力船舶批量应用于内河海巡艇的可行性研究[J]. 中国水运, 2023(10): 74-76.

[11] 陈建勇, 陈亚杰, 高海波, 等. 新型绿色船舶电力推进系统关键技术及应用分析[J]. 船海工程, 2023, 52(6): 1-7.

[12] 中国船级社. 船舶应用电池动力规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2023.

[13] 中国船级社. 内河船舶法定检验技术规则[S]. 北京: 人民交通出版社, 2019.

[14] 中国船级社. 公务船技术规则[S]. 北京: 人民交通出版社, 2020.

1. 收稿日期：2024-03-08

   作者简介：王世杰（1977—），女，高级工程师，注册验船师，从事公务船船艇总体设计研究。 [↑](#footnote-ref-1)