

三峡库区航标绿色建设与养护技术研究

张星星¹, 习倩倩²

(1. 重庆文理学院 城市建设工程学院, 重庆 402160; 2. 长江航道局 规划基建装备处, 湖北武汉 430014)

摘要: 为满足长江航道绿色发展的要求, 针对三峡库区航道传统钢质浮标运行和养护过程中所产生的航标失常、渣草缠绕和无法适应大水位变幅等问题, 提出强度高、防缠绕和智能升降3大总体技术要求, 据此选取改性超高分子量聚乙烯作为新设备主体材料, 开展第二代智能升降航标结构的优化设计。同时, 对于现有钢质浮标, 提出耙齿状锚石、弹性支座系缆桩和聚脲喷涂新工艺等绿色养护新技术。研究成果可为三峡库区航道绿色智能航标的建设与养护提供应用支撑。

关键词: 三峡库区; 航标; 绿色发展; 养护技术

中图分类号: U644

文献标志码: A

0 引言

为深入贯彻长江大保护理念, 更好践行交通强国、长江经济带和成渝地区双城经济圈等国家战略^[1], 大力推进长江航道绿色发展, 推广应用绿色环保、低碳节能的航标养护设备及养护技术, 已经成为新时期长江航道高质量发展领域内研究的热点问题^[2-5]。视觉航标是内河航道最基础、最重要的助航设施, 主要分为浮标和岸标两类, 用以标识航道有关的方向和界限等信息, 指引船舶安全、经济和高效航行。三峡库区航道作为长江黄金水道和长江经济带的重要组成部分, 按一类航标标准共配布航标2 000余座,

绝大部分为钢质浮标, 其养护、管理过程中耗费了大量的人力、物力和财力。

目前, 国内学者针对航标的绿色发展做了许多研究工作。Liu等^[6]总结了国内外著名内河航道的发展进程, 明确提出智能化、绿色化是未来内河航道发展建设的方向。刘怀汉等^[7]通过构建智能航道体系, 提出航道养护的低碳化转型是智能航道研发的主要目标之一。一些航道工作者从新设备、新技术、新材料等方面对航标的绿色建设进行了探索。李学祥等^[8]初步介绍了长江干线视觉航标新设备建设的现状, 包括太阳能一体化航标灯结构、多传感器集成技术、航标遥测遥控系统等。刘怀汉等^[9]总

收稿日期: 2024-12-31

基金项目: 中国博士后科学基金项目(2022MD713701); 重庆市自然科学基金项目(CSTB2023NSCQ-MSX0860); 重庆市教育委员会人文社会科学研究项目(22SKGH374); 重庆市教育委员会科学技术研究项目(KJQN202201309); 永川区技术创新与应用发展专项面上项目(2025yc-cxfz10046)

作者简介: 张星星, 男, 讲师, 博士, 主要从事通航水力学和航运管理等方面研究工作。E-mail: zhangddy@126.com

通信作者: 习倩倩, 女, 高级工程师, 硕士, 主要从事航道养护管理及船舶装备研究工作。E-mail: 425119054@qq.com

结了航标同步闪控制和航标遥测遥控新技术及应用,指出了遥测遥控技术在制造工艺和实际应用方面存在的缺陷。徐晓菲等^[10-11]研发了一套一源多色、模块化设计的多功能集成化航标灯器,完善了通信协议,并在万州库区航道黄蜡背侧面岸标进行了应用测试,效果良好。程洪^[12]、谭波等^[13]分别提出采用线性低密度聚乙烯和分子聚乙烯材料制作浮体,以提高浮标的耐腐蚀性、耐磨性,目前已在粤港湾海区航道和长江武汉航道段进行应用。孙红尧等^[14]认为海洋环境下超高分子量聚乙烯材料浮标是未来的发展方向。叶应明等^[15]对超高分子量聚乙烯材料的配方、施工工艺等进行了详细介绍,并在广州东莞水道进行了应用,效果较好。马巧萍等^[16]、徐晓明^[17]探讨了浮鼓(本文将其定义为第一代智能升降航标)在库区的应用优势,并对结构设计和工作原理等进行了介绍,但尚未对新材料进行深入研究,且在结构设计层面还存在较大的优化空间。

综上,学者们在绿色航标的研究方面已经取得了较为丰富的成果,但目前考虑三峡库区通航条件的航标绿色建设新设备、新技术和新材料的报道仍较少。因此,本文提出适应于三峡库区航道的第二代智能升降航标,并对其新结构、新材料展开探讨,同时针对现有钢质浮标,提出绿色养护技术,以满足三峡库区航道绿色发展的需求。

1 三峡库区航标绿色建设的总体技术要求

现阶段三峡库区航道助航设施以视觉浮标为主,传统钢质浮标在日常使用和养护中存在较大问题。从材料性能来看,钢质浮体抗腐蚀、抗风浪和抗撞击能力差,浮标在野外长期经历风吹日晒、酸雨侵蚀、外来附着物污染等,出现锈蚀、油漆亮度褪色、老化、开裂等现象,每3 a需要定期进行除污、除锈、涂漆等维护保养,且传统的油漆涂装无法满足长江生态保护的绿色发展需求。同时,由于三峡库区航

道通航环境复杂,船-标碰撞事故频发,导致航标发生走锚、漂失、灯器损毁、标志倒塌等失常现象,维护工作量大。从结构型式来看,钢质浮标通过首尾两端锚链固定在河床上,汛期时锚链极易缠绕大量渣草,在风、浪、流等综合作用下,极有可能诱发锚链断裂、浮标翻沉、浮体漂流等航标灾害。此外,受三峡枢纽调峰作业影响,库区水位变化频繁,最大变幅达30 m。航道部门管理人员需通过实时监控水深数据、航标位置以及周围情况,及时对辖区内钢质浮标进行调整、拖带、布设和清理渣草等,增加了管理工作量。更为重要的是,上述航标养护工作均需要经常出动机动船舶,能源消耗较大,大幅提高了碳排放量。

针对三峡库区水位变幅大、坡陡流急等典型特征,考虑到现有钢质浮标在养护过程中存在的问题,在现有研究的基础之上,提出三峡库区航标绿色建设的总体技术要求:①新设备的材料应具有耐腐蚀、抗撞击、免油漆保养等特性,实现绿色环保。②新设备的结构设计须避免汛期大量渣草缠绕或者堆积,减少人工维护航标过程的碳排放。③能够随水位变化智能升降。三峡库区水位具有变化快、落差大的特点,为减少收、撤、布航标的重复性维护工作,新设备的研发首要考虑能够随水位变化的升降结构。同时,为满足长江航道数字化、智能化的建设要求,新型升降航标必须实现智能化遥测遥控。显然,现有钢质船形浮标的结构型式不能满足上述技术要求。通过分析绿色航标建设的现状可知,虽然三峡库区航道已经开展了聚乙烯新材料标志船的研究,但标志船的船首阻水,在汛期容易兜挂渣草,加之聚乙烯船体较轻,渣草漂浮物缠绕时,船首前倾明显,船尾后翘,移位和翻沉的可能性较大(见图1)。鉴于此,本文在第一代智能升降航标研究的基础之上,基于长江中下游和海区航道浮鼓的结构型式,提出第二代智能升降航标。



(a) 船首阻水 (b) 船首缠绕渣草

图1 聚乙烯标志船首阻水和缠绕渣草

2 第二代智能升降航标新材料选型

国内绿色航标新材料主要包括玻璃钢 (FRP)、线性低密度聚乙烯 (LLDPE) 和超高分子量聚乙烯 (UHMWPE) 等。表 1 展示了 3 种材料的物理性能。玻璃钢材料长期耐热性、抗氧化性和柔韧性较差, 因此, 在内河和海区航标新材料一般选用 LLDPE 和 UHMWPE^[15]。LLDPE 为无毒无味无臭的乳白色颗粒, 熔点为 100 ~ 125 °C, 一般不需使用外力加压, 只需加热到一定温度采用滚塑工艺即可成型, 制作工艺简单, 适合大量生产, 绝大多数第一代智能升降航标都采用 LLDPE 制作而成^[16]。然而, LLDPE 的抗拉强度和抗冲击强度较小(见表 1), 受船舶撞击后, 容易诱发标体变形损毁事故, 使航标失去助航功能。同时, 由于 LLDPE 分子量一般小于 20 万, 航标外壳容易分解老化、褪色等, 其刚性随着温度的升高而降低, 三峡库区大部分航道均经高山峡谷, 昼夜温差较大, 加之四川、重庆等地夏季炎热、日照时间长, 在运行过程中 LLDPE 航标表面温度应力分布不均而导致不同程度的膨胀和弯曲, 缩短寿命, 一般 5 a 即需要进行维护保养。因此, LLDPE 并不能

完全满足三峡库区航道航标新材料的总体技术要求。

UHMWPE 是由乙烯、丁二烯单体在钨系催化剂的作用下聚合而成粘均分子量大于 100 万的热固性聚合物。由表 1 可知, 其结晶度高, 密度、刚性和硬度等机械性能和力学性能均较好。结合三峡库区航标的使用环境, 不能将普通的 UHMWPE 直接应用于航标的制作。文献 [15] 报道了改性后的 UHMWPE 材料机械性能及加工工艺, 断裂伸长率提升至 380%, 断裂强度提高至 38 MPa, 柔韧性进一步增强, 摩擦系数减至 0.06, 抗冲击强度增至 190 kJ/m², 且采用阻力挤出成型工艺和无缝焊接工艺, 成功解决了 UHMWPE 难加工的技术难题, 实现了改性 UHMWPE 用于航标制作的可能性。因此, 可将其作为第二代智能升降航标壳体、顶标和柱形标的主要材料, 保证三峡库区航标新设备的第一个技术要求。

3 第二代智能升降航标新结构设计

第二代智能升降航标主要由浮体设施、系泊系统、智能控制系统、航标灯、柱形标、升降杆、太阳能板、吊耳、供电系统等部分组成。浮体设施由改性 UHMWPE 制作的外部结构与钢质内部支撑结构构成, 抗撞击性能好, 确保航标受冲击后不产生大变形。整个壳体采用模块化组装工艺, 任何一个模块遭到碰撞, 均可实现局部快速替换及修复, 保障助航效能。浮体内部填充吸水率小于 0.1% 的闭孔聚氨酯泡沫, 保证标体不会沉没。航标中心内置直径 1 200 mm 的不锈钢容器, 以利于布设蓄电池、直流电机、行星减速结构、收放缆结构等, 同时容器

表 1 各种航标新材料物理性能对比

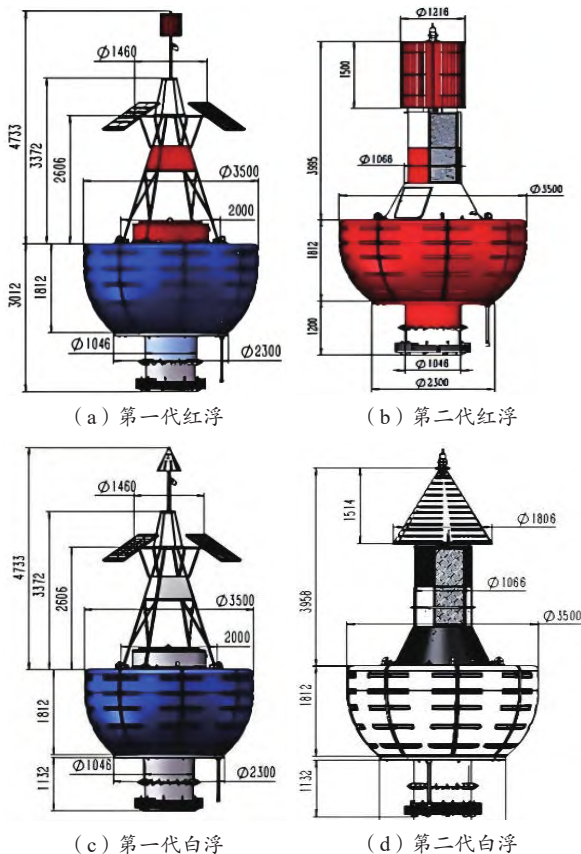
材料类型	密度 / (g·cm ⁻³)	抗拉强度 / MPa	抗冲击强度 / (kJ·m ⁻²)	拉伸弹性模量 / GPa	弯曲弹性模量 / MPa	断裂伸长率 / %	抗氧化性	耐热性	柔韧性
玻璃钢	1.5 ~ 2.0	100 ~ 300	60 ~ 70	18 ~ 26	1.0 × 10 ⁴	1.5 ~ 4.0	较差	较差	较差
线性低密度聚乙烯	0.918 ~ 0.935	10 ~ 20	29	1.0 以下	335	150	稍差	较好	较好
超高分子量聚乙烯	0.936 ~ 0.964	28	110	100 ~ 125	600	350	较好	较好	较好

作为尾管置于水下，便于安装平衡块，保证航标的稳定性及平衡性，从而增强抗风浪的能力。智能控制系统由检测装置、控制装置和远程控制客户端组成。系泊系统则包括锚石和钢缆两部分，相比传统钢质浮标，大大简化了系泊设施^[16-17]。

图2为第一代和第二代智能升降航标结构设计的对比。由图2可知，较之于第一代智能升降航标，第二代智能升降航标在结构设计上具有以下创新：

①将灯架结构优化为柱形标结构，包括圆台基座和柱状标身。第二代智能升降航标柱形标结构设计为红白或者黑白相间3段，基座底面直径1200mm，柱状标身直径1066mm，整体高度2400mm左右。顶标为底面直径1216mm、高度1500mm的红色罐形标或底面直径1806mm、高度1514mm的白色锥形标。此外，对原有的太阳能供电板的两翼结构进行优化改进，将其设计为内嵌式结构。一方面，柱形标结构由改性UHMWPE制成的板材构成，相

比钢质灯架结构，其抗腐蚀、抗老化、吸光、显形性能更强，使用寿命更长，并且可以增加视距和视觉效果，大幅提升助航效果；另一方面，太阳能供电板的内嵌式设计能够有效减少风的阻力，降低智能控制系统的工作负荷。②增设多级同步升降结构。该结构为手摇式齿轮齿条多级升降机构（见图3），包括链轮箱、拉绳和4节齿轮齿条结构。当需要更换航标灯时，操作人员不用再攀爬灯架，只需手摇升降杆，蜗轮蜗杆减速器带动拉绳下降，同时第4节齿条下降，齿轮旋转带动第3节、第2节和第1节齿条同步降低，安装好航标灯后，再转动升降杆直到航标灯升到适合的高度。多级同步升降结构上升下降平稳，稳定性高，安全可靠，不仅减轻了操作人员的劳动强度，还有效避免了高处作业所带来的安全隐患。



注：图中尺寸单位为mm。

图2 第一代和第二代智能升降航标结构设计对比



图3 柱形标多级同步升降结构

避免汛期大量渣草缠绕或者堆积是三峡库区航标新设备的第二个总体技术要求，主要通过系泊系统实现。第二代智能升降航标的钢缆与栓系锚石的锚链之间有转环相连，江面上的浮体在风浪作用下可以自由旋转，渣草无法堆积在浮体周围，同时浮体的旋转带动了锚链的运动，能够避开渣草的大量缠绕。

三峡库区航标的智能升降由智能控制系统完成。检测装置主要基于北斗精准定位技术，实时检测和收集水深和浮体偏移位置（ L_0 ），控制装置将实时数

据与设定的浮体偏离控制位置的上限值 (L_1)、下限值 (L_2) 进行比较, 并向执行结构发出指令。具体有以下 3 种情况: ① $L_2 \leq L_0 \leq L_1$, 水位变幅不大, 执行结构不工作; ② $L_0 < L_2$, 水位上升, 浮体距离中心位置太近, 控制装置发出电机反转的指令, 放缆; ③ $L_0 > L_1$, 水位下降, 浮体距离中心位置太远, 控制装置发出电机正转的指令, 收缆。控制装置的执行结构由直流电机、行星减速器、钢缆卷扬机和供电系统组成。供电系统设计选用了 36 V/300 W 太阳能电池和 24 V/400 Ah 铅酸蓄电池, 供 3 kW 直流电机工作。直流电机获得智能控制器的指令后, 带动安装在卷扬机中心内的 4 级行星减速器工作, 同时卷扬机在丝杆的带动下沿 3 根导轨左右摆动, 保证钢缆始终在航标中心收放缆, 避免大水位变幅收放缆时钢缆突然倾斜致使锚链断裂。航标的各种指标及工作状态通过 GPRS/GSM 把信息传输到远程管理客户端^[6], 实现第二代智能升降航标的遥测遥控。第二代智能升降航标的新结构设计能够满足三峡库区新设备的第二个和第三个总体技术要求。

4 第二代智能升降航标实际应用

表 2 综合对比了第一代和第二代智能升降航标的性能, 发现第二代智能升降航标具有以下显著优势: ①分子量高, 抗冲击强度和柔韧性好, 发生大能量碰撞可迅速回弹, 损坏程度较小, 做到“大撞不坏”; ②摩擦系数小, 发生小能量的碰撞时, 船舶一旦接触航标, 可较快实现脱离和滑移, 做到“小

撞不修”; ③自润滑性高, 水生物和鸟粪等难以攀附, 即便有少量粘连物, 可使用高压水枪进行快速清理, 减少维护工作量。

依托长江航道局“擦亮行轮眼睛”航标专项建设, 第一代智能升降航标已经在长江万州库区航道段开展了测试和初步运用, 取得了良好效果^[16-17]。目前, 在长江忠县一庙河河段已经对第一代智能升降航标进行了更新换代并开展了相关试用工作, 本文以庙堡红浮(右岸)和先理沟白浮(左岸)为例阐述第二代智能升降航标的应用情况, 如图 4 和图 5 所示。



图 4 庙堡红浮

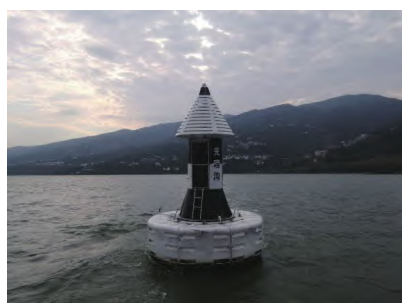


图 5 先理沟白浮

表 3 显示了庙堡红浮和先理沟白浮 2024 年 6—10 月的运行情况。由表 3 可知, 6—10 月长江水位由 151.61 m 上升至 173.67 m, 变幅达 22 m, 第二代

表 2 第一代和第二代智能升降航标性能的比较

名称	材料性能	维护周期	耐老化	风阻系数	环保性能	使用寿命	抗撞击能力
第一代智能升降航标	LLDPE, 分子量 < 20 万	尾管每年涂漆一次, 清除水生物一次	3 ~ 5 a 不老化, 不褪色	较高	尾管及安装架涂漆, 污染环境	5 a 以上	撞击后极易损坏、漏水、倾斜、下沉, 浮标作废
第二代智能升降航标	UHMWPE, 分子量 \geq 350 万	尾管及浮体均为 UHMWPE, 不需涂油漆, 不需清除水生物, 不需维护	5 ~ 10 a 不老化, 不褪色	较低	对环境无污染	10 a 以上	撞击后迅速回弹, 不变形、不损坏、不漏水、不倾斜、不下沉、无需维护, 可继续使用

智能升降航标运转良好，能够随水位智能升降，且自身姿态保持较好，倾斜角度最大为 2°。同时，数字航道平台显示，位移报警次数和漂移报警次数极少，仅在汛期漂移报警 1 次，极大减少了现场调标维护的工作量。

表 3 庙堡红浮和先理沟白浮 2024 年 6—10 月运行情况

月份	标位名称	测时水位 /m	干舷高度 /m	倾斜角度 / (°)	位移报警次数	漂移报警次数
6	庙堡红浮	151.61	1.3	2	0	0
	先理沟白浮	151.61	1.3	1.8	0	0
7	庙堡红浮	154.01	1.2	1.7	0	0
	先理沟白浮	154.01	1.2	1.7	0	0
8	庙堡红浮	158.51	1.3	2	0	1
	先理沟白浮	158.51	1.3	1.9	0	0
9	庙堡红浮	163.46	1.2	1.8	0	1
	先理沟白浮	163.46	1.2	1.7	0	0
10	庙堡红浮	173.67	1.3	2	0	0
	先理沟白浮	173.67	1.3	1.8	0	0

5 钢质浮标绿色养护新技术

目前，第一代和第二代智能升降航标已经在长江三峡库区航道进行了初步测试和应用，但是大部分航道的助航设施仍以钢质浮标为主。文献 [18] 提出了长江航道绿色智能航标的发展路径，到 2035 年前，将使用新材料标志船逐步替换传统钢质浮标。因此，针对正在服役的钢质浮标，笔者从附属设施的结构优化和喷涂工艺两个方面提出绿色养护新技术，主要包括耙齿状锚石结构、弹性支座系缆桩结构和聚脲喷涂新工艺。

5.1 耙齿状锚石结构

钢质浮标锚石的锚固力因河床地质条件而不同。例如，在三峡库区流速湍急河段，河床多为砂卵石质，若采用与淤泥质河床中同等质量的锚石，嵌入河床部分较浅，极易发生标志船漂失现象；若采用铁质锚石，则会增加工程造价。本文提出耙齿

状锚石结构（见图 6），对现有锚石形状进行优化，大幅增加切入河床底部的作用力，以满足三峡库区急流河段经济可靠的锚定要求，避免钢质浮标汛期失常的隐患。



图 6 耙齿状锚石结构

5.2 弹性支座系缆桩结构

船舶碰撞钢质浮标系缆桩是导致浮标失常的主要诱因之一 [18]。系缆桩布置于甲板近舷侧，由钢材构成，一旦遭遇船舶撞击，瞬间将产生较大的动量交换，使系缆桩产生明显变形或者损毁，甚至损伤标志船体。因此，本文提出弹性支座系缆桩结构（见图 7），将固定支座优化为弹性支座。船舶碰撞系缆桩时，向浮标内部压缩弹性支座发生形变，在此过程中弹性支座能够吸收大部分撞击能量，船舶脱离标志船体后，弹性支座复位，最大程度保护系缆桩的安全。但弹性支座系缆桩仅仅适用于低速航行船舶的偶然撞击，为彻底规避船舶碰撞系缆桩海损事故，研究超高分子量聚乙烯或者线性低密度聚乙烯材料的系缆桩将是后续长江绿色智能航标建设的重要任务。



图 7 弹性支座系缆桩结构

5.3 聚脲喷涂新工艺

三峡库区钢质浮标保养现状的调研显示, 大多数标志船的保养期限均小于 3 a, 一般 2 a 左右就要进行上下水转运, 开展油漆保养工作^[12]。为解决现有钢质浮标油漆保养难题, 本文提出聚脲喷涂绿色养护新工艺。

喷涂聚脲是一种通过异氰酸酯与端氨基聚醚的快速反应生成的弹性体物质, 具有新型无污染、无尘、无溶剂和附着力强等性能^[19]。以第五代芳香族聚脲喷涂材料为例, 其拉伸强度为 22.8 MPa, 撕裂强度为 75.5 kN/m, 断裂伸长率达到 450%, 且耐久性为 20 a 以上。钢质浮标喷涂聚脲后, 具有防腐蚀、防锈和抗老化等能力, 能够有效减少钢质浮标集中上岸维护的次数, 减少吊装与运输过程中的碳排放量, 保护环境的同时能较大幅度降低养护成本。需要说明的是, 聚脲喷涂工艺在施工过程中会导致一定程度的污染, 但考虑到三峡库区航道多为钢质浮标的实际现状, 未来 10 a 内, 聚脲喷涂新工艺在长江三峡库区高盐度、易腐蚀潮流河段内仍具备较高的应用潜力和应用价值。

6 结论

(1) 针对长江三峡库区传统钢质浮标在绿色发展中存在抗撞击能力差、汛期缠绕渣草以及大水位变幅需频繁收撤浮标等现状, 提出三峡库区航标绿色建设的三大总体技术要求, 即强度高、防缠绕和智能升降。

(2) 在新设备研发方面, 通过对比玻璃钢、线性低密度聚乙烯和改性超高分子量聚乙烯材料的物理性能, 提出选用改性超高分子量聚乙烯材料制作第二代智能升降航标的壳体、柱形标板材和顶标。同时, 设计了第二代智能升降航标的新结构, 主要包括柱形标结构和多级同步升降结构, 并通过浮体设施的旋转运动和智能控制系统, 解决防渣草缠绕和自动收放缆的技术难题。

(3) 对于传统钢质浮标, 提出耙齿状锚石、弹性支座系缆桩和聚脲喷涂新工艺, 可以有效解决航标走锚和系缆桩损坏等问题, 同时消除现有油漆保养所带来的环境污染和高成本等弊端。

参考文献:

- [1] 曲婷. 长江经济带绿色发展政策的演进与展望[J]. 长江技术经济, 2022, 6(2): 26-31.
- [2] HE Q, KONG F X, WEI F X, *et al.* The Impact and Channel Effects of Yangtze River's Great Protection Strategy on Carbon Emissions: Quasi-experimental Evidence from China[J]. *Environment, Development and Sustainability*, 2024, 27(8): 1-25.
- [3] SHENG J C, RUI D, HAN X. Governmentality and Sociotechnical Imaginary within the Conservation-development Nexus: China's Great Yangtze River Protection Programme[J]. *Environmental Science & Policy*, 2022, 136: 56-66.
- [4] 许全喜, 许继军. 发展长江水利新质生产力的几点思考[J]. 长江科学院院报, 2024, 41(9): 1-7.
- [5] 刘均卫, 程稳, 刘涛. 新发展阶段推进长江航运高质量发展的路径探究[J]. 长江技术经济, 2023, 7(4): 6-15.
- [6] LIU H H, LIU Q, CAI D F, *et al.* Study on Division Method of Inland Waterway Development Stage[C]// *ICTIS 2013: Improving Multimodal Transportation System-Information, Safety, and Integration*. Virginia: ASCE, 2013: 2166-2174.
- [7] 刘怀汉, 李学祥, 杨品福, 等. 长江智能航道关键技术体系研究[J]. 水运工程, 2014(12): 6-9.
- [8] 李学祥, 洪珺, 周彩, 等. 长江干线视觉航标技术总结与展望[J]. 中国水运·航道科技, 2017(5): 34-36.
- [9] 刘怀汉, 曾晖, 周俊安, 等. 内河航道助航系统智能化技术研究现状与展望[J]. 水利水运工程学报

报, 2015(6): 82-87.

[10] 徐晓菲, 施浩亮. 新型多功能模块化航标灯研发[J]. 航海技术, 2024(1): 27-32.

[11] 徐晓菲, 施浩亮. 新型多功能模块化航标灯的试用评估分析[J]. 中国水运, 2023(增刊1): 44-49.

[12] 程洪. 浮标在绿色航道建设中的应用研究[J]. 珠江水运, 2022(23): 12-14.

[13] 谭波, 幸航, 江坤璐, 等. 新型多功能标志船的设计构想[J]. 中国水运·航道科技, 2021(1): 40-44.

[14] 孙红尧, 李红卫, 李维运. 海洋环境非金属材料航标技术的应用[J]. 水利水运工程学报, 2022(6): 156-162.

[15] 叶应明, 施洪标, 毛睿, 等. 超高分子量聚乙烯材料在航标中的研究与应用[J]. 中国水运, 2022(7): 61-64.

[16] 马巧萍, 牟文豪. 浮鼓在三峡库区河段的研究与应用分析[J]. 中国水运·航道科技, 2021(5): 45-50.

[17] 徐晓明. 三峡库区航道智能浮鼓建设及推广应用[J]. 水运工程, 2024(9): 180-186, 192.

[18] 李昕, 冯瑞时. 长江航道绿色智能航标技术指南研究[R]. 武汉: 长江航道勘察设计院(武汉)有限公司, 2023.

[19] 王媛怡, 陈亮, 汪在芹. 水工混凝土大坝表面防护涂层材料研究进展[J]. 材料导报, 2016, 30(9): 81-86.

Green Construction and Maintenance Technologies of Navigation Marks in Three Gorges Reservoir Area

ZHANG Xingxing¹, XI Qianqian²

(1. School of Urban Construction Engineering, Chongqing University of Arts and Sciences, Chongqing 402160, China; 2. Planning, Infrastructure and Equipment Department, Changjiang Waterway Bureau, Wuhan 430014, China)

Abstract: To meet the requirements of green development of the Yangtze River waterway, this article aims to address the issues of navigation mark malfunction, grass winding, and the inability to adapt to large water level variations caused by operation and maintenance of traditional steel buoys in the Three Gorges Reservoir area. Based on three overall technical requirements including high strength, anti-winding, and intelligent lifting, the modified ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) was chosen as the primary material for the optimized design in the structure of second-generation intelligent lifting navigation marks. Moreover, we proposed green maintenance technology for current steel buoys such as rake-toothed anchor stone, elastic bearing mooring bollard, and polyurea spraying technologies. The research results provide application support for the construction and maintenance of green intelligent navigation marks in the Three Gorges Reservoir area.

Key words: Three Gorges Reservoir area; navigation mark; green development; maintenance technology



本刊邮箱: cjjsjj@126.com