

基于北斗导航的内河航道智能航标系统探究

官川越 代文豪 张秋懿 李洲荣

重庆工程学院, 重庆, 401320;

摘要: 内河航运作为内河综合交通运输体系中的重要组成, 具有经济、环保等优势, 其发展对航道安全性和管理效率提出了更高要求。本文深入探究内河航道智能航标系统, 详细阐述其架构、功能及关键技术。北斗导航凭借高精度定位、短报文通信等优势, 与内河航道实际需求结合, 可实现航标智能监测、远程控制及为船舶提供精准导航服务。该系统应用有助于提高内河航道通航安全性、提升管理部门工作效率、推动内河航运智能化发展、对我国内河航运事业意义重大。

关键词: 北斗导航; 内河航道; 智能航标系统; 短报文通信; 航标监测

DOI: 10.69979/3060-8767.25.08.031

引言

内河航运在综合交通运输体系中占据重要地位, 其运输方式经济、环保。但传统航标巡检主要依靠人工, 耗费大量人力、物力和时间, 且信息反馈不及时, 难以实时监测和调整航标状态。在恶劣天气或突发事件时, 传统航标可能无法为船舶提供准确导航信息, 进而增加船舶航行风险。我国自主研发的北斗卫星导航系统, 作为全球卫星导航系统, 定位、导航、授时精度高, 且具备独特的短报文通信功能。将其应用于内河航道智能航标系统, 能有效解决传统航标问题, 提高内河航道智能化管理水平和通航安全性^[1]。

1 北斗导航系统概述

1.1 系统组成

北斗系统由空间段、地面段和用户段三部分构成。空间段包含多颗地球静止轨道卫星、倾斜地球同步轨道卫星和中圆地球轨道卫星, 协同提供全球稳定的卫星信号覆盖。地面段包括主控站、时间同步/注入站、监测站等地面站以及星间链路运行管理设施, 负责对卫星进行监测、控制和数据注入, 确保卫星系统正常运行及信号精度。用户段涵盖北斗与其他卫星导航系统兼容的芯片、模块、天线等基础产品, 以及终端产品、应用系统和应用服务等, 用户借此接收北斗卫星信号, 实现定位、导航等功能。

1.2 技术优势

北斗系统具备多方面技术优势。在定位精度方面, 通过先进技术手段可提供高精度定位服务, 并且将导航

与通信能力创新融合, 具备独特的短报文通信功能, 使用户在无地面通信网络覆盖区域, 能借助北斗终端收发短消息, 实现信息双向传递。

2 内河航道智能航标系统现状

2.1 传统航标的局限性

传统内河航标在运行中暴露出显著缺陷。在维护管理上, 高度依赖人工定期巡检, 需投入大量人力与物力资源, 且巡检周期长, 缺乏实时监测能力。以长江内河航道为例, 数千公里航道内航标密集分布, 单次巡检常耗时数日, 期间若航标发生故障, 难以及时发现修复。统计数据表明, 因人工巡检延迟导致航标故障未及时排除, 威胁船舶航行安全的事件频发, 给内河航运安全带来潜在风险。在信息传递方面, 传统航标存在明显短板。当航标出现位置偏移、灯光失效等异常时, 航道管理部门与通行船舶无法实时获取警示信息。曾有实例显示, 某内河航道受洪水冲击致航标位移, 因缺乏实时信息传递机制, 管理部门未能及时响应, 致使多艘船舶偏离正常航线, 存在碰撞风险。此外, 传统航标仅具备基础视觉指示功能, 无法向船舶提供水深、流速等关键水文数据, 严重制约船舶航行效率与安全保障水平。

2.2 现有智能航标系统的局限性

当前内河航道的智能航标系统存在显著局限性。部分系统依赖地面通信网络(如GPRS)进行数据传输, 但内河航道部分区域地处偏远, 地面网络覆盖不完整, 信号易受地形起伏、气象条件等因素干扰, 导致通信链路中断或不稳定。尤其在山区航道, 周围高山对信号产生

遮蔽效应,致使航标采集数据无法及时传输至监控中心,严重影响航标实时监测与管理效能。现有系统在数据处理与分析能力方面亟待提升。多数系统仅能实现航标基础状态数据的采集与传输,缺乏对海量数据进行深度分析与挖掘的能力。既无法基于历史数据预测航标潜在故障,也难以通过多源异构数据的融合分析,为船舶提供航道实时状况下的最优航行决策建议。在船舶流量密集的航道交汇区,现有系统难以实时处理船舶航行轨迹、航速等动态信息,无法生成有效的船舶避碰策略与航线优化方案,易引发航道拥堵,增加船舶碰撞风险^[2]。

3 基于北斗导航的内河航道智能航标系统设计

3.1 系统架构

内河航道智能航标系统架构基于北斗导航,主要包括数据采集子系统、数据传输子系统、数据处理与管理子系统和用户应用子系统。数据采集子系统负责采集航标及航道相关信息,其中航标精确位置信息由安装在航标上的北斗定位模块获取,航道水文信息及航标工作状态信息则由各类传感器(包括水位传感器、流速传感器、航标状态传感器等)采集。数据传输子系统将采集到的数据传输至数据处理与管理子系统,利用北斗短报文通信功能和其他通信方式(在地面网络覆盖区域采用4G通信),在地面通信网络覆盖不到的区域,北斗短报文通信发挥关键作用,确保数据及时稳定传输。数据处理与管理子系统负责存储、分析和处理接收到的数据,包含数据服务器和数据处理软件。数据服务器负责存储大量历史数据和实时数据,数据处理软件则依据航标位置变化判断是否有偏移,结合水文数据与船舶航行数据预测航道拥堵等。用户应用子系统为航道管理部门、船舶用户等提供服务。航道管理部门可通过该系统实时监控航标状态,及时处理异常情况,并依据系统数据分析报告进行航道规划和管理决策。船舶用户借助船上终端设备接收智能航标系统的导航信息、航道实时状况等,为船舶安全航行提供支持。

3.2 功能模块

3.2.1 航标实时监测

航标装载北斗定位模块和各类传感器,能实现对航标的全方位实时监测。北斗定位模块可实时获取航标精确位置信息,精度达米级甚至更高,与高精度地图结合,能准确判定航标位置是否偏移。若航标因水流冲击等原

因发生位置改变,系统能立即检测到位置偏差超预设阈值,随即向航道管理部门报警。各类传感器实时收集航标工作状态信息,如航标灯亮度、电池电量、太阳能板工作状态等。若航标灯亮度异常降低或电池电量过低,系统会及时上报故障信息,管理部门据此安排维护人员维修,确保航标正常工作,为船舶提供可靠导航指示。

3.2.2 远程控制

利用北斗导航系统通信功能实现航标的远程控制。航道管理部门可根据实际航道状况,通过远程控制指令调整航标工作模式。例如,在航道疏浚施工时,为引导船舶避开施工区域,管理部门可远程控制航标改变灯光闪烁模式或调整其位置。若某区域航标位置需微调,管理部门发送指令,通过控制航标推进装置(如小型电动螺旋桨等)使航标沿预定路线移动到合适位置,无需派人现场操作,提高工作效率,降低维护成本。

3.2.3 船舶导航服务

智能航标系统利用北斗导航的高精度定位信息和采集到的航道实时信息,为船舶提供精准导航服务。船舶通过船上导航终端设备接收智能航标系统信号,获取当前船舶精确位置和周边航道详细信息,如水深、流速、航标分布等。据此,系统为船舶规划最优航行路线,并实时监测船舶位置。若船舶偏离规划路线,及时报警提醒船员纠正航向。在复杂的内河航道交汇处,系统综合考虑各方向船舶流量、速度和航道水深等因素,为船舶规划安全高效的航行路线,避免碰撞和搁浅事故,提升内河航道通航效率和安全性。

4 关键技术实现

4.1 北斗定位技术在航标中的应用

在航标上安装高精度北斗定位模块,实现航标的精准定位。该模块接收多颗北斗卫星信号,通过三角定位原理计算航标精确位置,并采用差分定位技术提高定位精度。其原理是已知精确坐标的基准站与航标上的移动站接收北斗卫星信号,基准站将计算出的位置修正信息经数据传输链路发送给移动站,移动站据此校正自身定位结果,提高定位精度。经实际测试,采用差分定位技术后,航标定位精度可达亚米级,满足内河航道对航标位置高精度监测的需求。

4.2 基于北斗短报文的通信技术

充分利用北斗短报文通信技术进行数据传输。内河

航道部分区域地理环境复杂，地面通信网络覆盖不到，而北斗短报文通信不受地理条件限制，凡北斗卫星信号覆盖之处，即可实现数据双向传输。智能航标系统将采集的航标位置、工作状态、航道水文等数据打包，经北斗短报文通信模块发送至监控中心。监控中心也可通过北斗短报文向智能航标发送控制指令、查询请求等。例如，在偏远内河航道，周边无地面通信基站，智能航标依靠北斗短报文通信，按时将每天采集的水位、流速等数据发送至监控中心，为航道管理部门掌握该区域航道情况提供关键数据支持。

4.3 传感器技术与数据融合

在航标上集成多种传感器，包括水位传感器、流速传感器、航标状态传感器等。水位传感器可选择压力式或超声波式，能实时精准测量航道水位变化；流速传感器借助电磁感应或声学多普勒原理测量航道水流速度；航标状态传感器则用于监测航标灯亮度、电池电量、太阳能板输出电压和电流等工作状态参数。数据融合技术对这些传感器采集的数据进行处理，将多个传感器不同类型数据综合分析，获得更准确全面的信息。例如，将水位传感器和流速传感器的数据与航标位置数据融合分析，可判断水流对航标位置影响趋势，提前预测航标可能的位置偏移风险，为航道管理部门采取预防措施提供依据。

5 系统应用案例分析

5.1 长江某段航道试点应用情况

长江某段航道试点应用了基于北斗导航的内河航道智能航标系统。该试点区域航道复杂，船舶流量大，对航道安全性和管理效率要求高，试点期间共部署了200个智能航标，每个均配有北斗定位模块、多种传感器和北斗短报文通信模块。运行一段时间后成效显著。在航标维护管理方面，过去人工巡检该区域航标需5天，且一些潜在航标故障不易发现。智能航标系统应用后，凭借实时监测功能，航标故障能及时发现并自动报警，维护人员可根据报警信息针对性维修，航标故障修复时间从平均72小时缩短至8小时，维护效率提高88.9%，每年人工巡检费用节省约120万元。航道管理部门利用远程控制功能，可根据航道变化及时调整航标位置与工作模式，保障航道畅通。

在船舶航行安全方面，智能航标系统提供的导航信息由船上导航终端接收，船舶用户借此更精准地掌握船舶位置与周边航道情况，避免因航道信息不清引发的碰撞和搁浅事故。统计显示，智能航标系统应用后，该区域船舶航行事故发生率较之前降低35%，通航效率提高28%，日均通过船舶数量从420艘提升至538艘，因船舶延误减少带来的经济效益约180万元。长江该段航道的安全性与运输能力得到有效提升。

5.2 应用效果评估

对试点区域应用情况进行详细评估后发现，北斗导航的内河航道智能航标系统在多方面优势明显。在经济效益上，每年可减少人工巡检成本与航标故障致船舶延误成本共计约300万元。在安全性方面，能显著降低船舶航行事故发生率，保障船员生命与货物运输安全。在环境效益方面，船舶航行更顺畅，减少不必要的停留和迂回航行。经测算，试点区域船舶燃油消耗降低约12%，废气排放减少约15%，对环境保护具有积极意义。同时，该系统的应用为内河航道智能化管理提供了宝贵经验，奠定了坚实的推广基础^[3]。

6 结论

本文深入研究了基于北斗导航的内河航道智能航标系统，详细阐述了系统架构、功能模块及关键技术，展示了其在内河航道领域的巨大应用潜力。通过分析实际应用案例，验证了该系统在提高内河航道通航安全性、提升航道管理效率及降低运营成本等方面的显著成效。随着北斗导航技术的不断发展，未来该系统有望进一步优化升级，为我国内河航运事业的智能化、现代化发展提供更有力的技术支撑。

参考文献

- [1] 朱湘杰,张俊杰,曾乐,等.基于北斗的内河航道航标智能监控系统方案设计[J].中国水运:下半月,2022,22(9):56-58.
- [2] 陈帅.基于北斗导航的内河航道智能航标系统研究[J].珠江水运,2025(4):27-29.
- [3] 余青容,喻守刚.北斗卫星导航系统在长江航道的应用展望[J].中国水运:下半月,2017(1):3. DOI:CNKI:SUN:ZSUX.0.2017-01-036.