

团 体 标 准

T/CSNAME 202—2026

内河自主船舶架构设计指南

Guidelines for the design of inland waterway autonomous ship structures

2026 - 06 - 05 发布

2026 - 09 - 05 实施

中国造船工程学会 发 布

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国造船工程学会船舶标准化专业委员会提出。

本文件由中国造船工程学会归口。

本文件起草单位：中国船级社、水上载运装备安全研究院、武汉理工大学、大连海事大学。

本文件主要起草人：孙旭、岳鹏、朱广超、赵旭会、李忠建、马枫、郑茂、杨雪、周翔宇。



内河自主船舶架构设计指南

1 范围

本文件提供了在内河中自主航行船舶架构设计的基本原则、总体技术架构、功能架构和物理架构等的技术指南。

本文件适用于自主等级为No级的内河船舶的架构设计和规划。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 23694—2024 风险管理术语

IEC 61162—2024 (所有部分) 海上导航和无线电通信设备及系统 (Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems)

RTCM SC10403.3 海事无线电技术交互标准 (Radio Technical Commission for Maritime services)
中国船级社. 智能船舶规范. 2025

3 术语和定义

GB/T 23694—2024界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

航行态势感知 maritime situation awareness

通过各类传感器,对船舶航行环境中的目标船舶、障碍物进行识别、跟踪、融合,对目标的当前运动状态和未来运动趋势进行精确建模,从而支撑智能航行。

3.2

决策主体 decision-maker

做出船舶航行决策的主体,决策主体可以是船舶驾驶员、自动控制算法等。

3.3

自动操舵仪 Autopilot

即自动舵,在本标准中特指航向自动舵。

3.4

航向保持 course-keeping

通过自动航向控制系统,实现对船舶的航向、艏向进行精确的控制,不对船舶航速进行控制。

3.5

路径跟随 path following

通过路径跟随控制器,实现对船舶的航行路径进行精确的控制,不对船舶航速进行控制。

3.6

辅助避碰 assistant collision avoidance

通过目标感知获取的障碍物信息,结合相关海事规则,辅助提供避碰操作建议(可以是转艏角度、加减速信息、舵角等辅助信息),支撑驾驶员完成船舶避碰操作。

3.7

自主避碰 automatic collision avoidance

通过目标感知获取的障碍物信息,结合相关海事规则,生成避碰操作指令,通过自动舵或船舶运动控制系统,自主完成船舶避碰操作。

4 基本原则

内河自主船舶的架构设计宜遵循以下原则：

- a) 客观性原则：架构设计宜基于真实的内河航行环境、船舶特性和技术成熟度；
- b) 科学性原则：架构设计宜采用系统工程的科学方法，确保各子系统间的协调与优化；
- c) 全面性原则：架构设计宜综合考虑船端、岸端以及船岸协同的全部功能需求；
- d) 安全性原则：架构设计应采用系统性的安全方法，通过风险识别、安全防护和持续验证，确保系统在全生命周期内的功能安全、信息安全和操作安全。
- e) 前瞻性原则：架构设计宜为未来技术升级和功能扩展预留接口和能力。

5 总体技术架构设计

5.1 概述

内河自主船舶总体功能架构由船端和岸端两部分构成，示意图如图1所示。

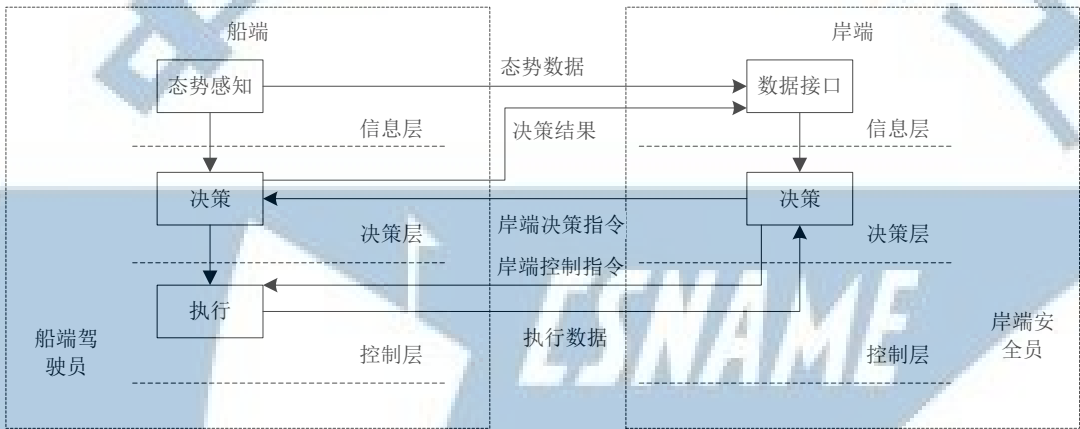


图1 内河自主船舶总体功能架构

5.2 船端系统

5.2.1 组成

船端系统通常包括以下部分：

- a) 航行态势感知系统；
- b) 自主航行决策系统；
- c) 自主航行驾控系统；
- d) 船岸通信系统。

5.2.2 航行态势感知系统

5.2.2.1 内河自主船舶航行态势感知设备基本组成

内河自主船舶的航行态势感知系统通常配备以下类型系统设备：

- a) 电子海图及海图显示系统；
- b) 导航雷达（X、S 波段）；
- c) 船舶自动识别系统（AIS）；
- d) 全球卫星定位系统（兼容北斗、GPS、格罗纳斯、伽利略系统）；
- e) 测深仪；
- f) 电罗经；
- g) 风速风向仪；
- h) 多源感知信息融合设备。

5.2.2.2 内河自主船舶航行态势感知可选设备

为提升自主航行、远程驾控性能，还可增加配置以下系统设备：

- a) 差分定位终端设备（DGPS、RTK）；
- b) 红外/可见光摄像机及自动目标识别设备；
- c) 激光雷达；
- d) 毫米波雷达；
- e) 数据处理计算机、AI 处理单元。

5.2.3 自主航行决策系统

常规内河自主船舶的自主航行决策系统通常配备以下类型系统设备：

- a) 高性能双热备份决策计算机；
- b) 航行风险评估计算机。

5.2.4 自主航行驾控系统

常规内河自主船舶的自主航行驾控系统通常配备以下类型系统设备：

- a) 高性能双热备份决策计算机；
- b) 可自主、远程控制的船舶主推进装置；
- c) 自动舵装置；
- d) 具备人机驾控权切换功能的船端驾控台。

自主航行驾控系统通过推进系统、舵机、姿态控制系统和电源管理系统来执行决策命令，调节船舶的速度、方向和姿态，确保船舶的自主航行。

5.2.5 船岸通信系统

船岸通信系统可实现船舶自主航行、远程驾驶、人机协同驾驶等不同类型的自主航行模式，常规内河自主船舶通常配备以下类型系统设备：

- a) 4G/5G 无线通信设备；
- b) 卫星窄带通信设备；
- c) 卫星无线网络设备；
- d) 无线 Mesh 自组网设备；
- e) 无线图数一体传输设备。

5.3 岸端系统

5.3.1 组成

岸端系统通常包括以下部分：

- a) 岸基驾控系统；
- b) 船岸通信系统；
- c) 岸基导航系统。

5.3.2 岸基驾控系统

岸基驾控系统仅包括航行决策系统，使用的系统设备包括但不限于：

- a) 岸基操作台；
- b) 航行态势显示大屏；
- c) 航行风险评价系统；
- d) 多模式航行决策系统；
- e) 人机交互系统。

5.3.3 船岸通信系统

船岸通信系统使用的系统设备主要包括但不限于：

- a) 4G/5G 无线通信设备；
- b) 卫星窄带通信设备；
- c) 卫星无线网络设备；

- d) 无线 Mesh 自组网设备;
- e) 无线图数一体传输设备;
- f) 光纤网络设备;
- g) 数据传输服务器。

5.3.4 岸基导航系统

岸基导航系统使用的系统设备主要包括但不限于:

- a) 岸基海事监管雷达;
- b) 岸基 VTS 系统;
- c) AIS 基站网络系统;
- d) CCTV 监视系统;
- e) 重点水域激光雷达设备;
- f) 数据融合服务器;
- g) 航行风险预警服务器。

6 功能架构设计

6.1 船端驾控功能

6.1.1 航向保持控制功能

航向保持控制模式下,决策主体是船舶驾驶员、自动控制算法、远程驾驶员等,由决策主体输入目标航向角,当船舶受到外界扰动后偏离目标航向时,由电罗经/陀螺仪/卫星罗经等传感器提供航向偏差信号,自动操舵仪可通过计算,给出反馈控制指令,通过伺服执行机构控制舵面,使船舶回到原航向,具体控制基本流程如图2所示。



图2 航向保持控制模式基本流程

自动操舵仪可采用的控制算法例如:

- a) 比例-积分-微分 (PID) 控制算法;
- b) 自适应 PID 控制算法;
- c) 智能控制算法;
- d) 预测控制算法。

6.1.2 路径跟随控制功能

路径跟随控制模式下,决策主体是船舶驾驶员、自动控制算法、远程驾驶员等,有决策主体输入预设路径点序列,通过实时测量船位与预设路径的相对关系计算目标航向,进而跟踪预设路径实现航行动态稳定,适用于船舶欠驱动、强非线性及抗扰需求场景,控制流程见图3。

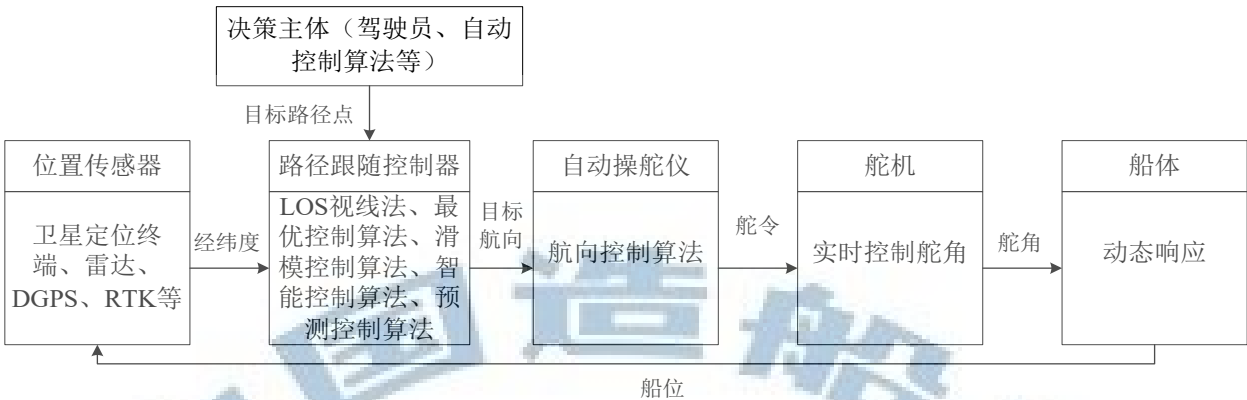


图3 路径跟随控制模式基本流程

6.1.3 辅助避碰功能

- 6.1.3.1 辅助避碰功能宜实时感知船舶周边环境，识别碰撞风险，并生成航速调整、航向修正或紧急避碰指令。
- 6.1.3.2 系统宜基于多源数据融合技术及航行规则生成避碰策略。
- 6.1.3.3 检测到碰撞风险时，应通过可视化界面及声光报警提示操作人员或自动操舵系统响应，由决策主体（船舶驾驶员、自动避碰控制算法等）生成避碰方案，并由自动操舵仪执行操舵控制，具体控制流程见图 4。



图4 避碰控制模式基本流程

6.1.4 自主避碰功能

- 6.1.4.1 自主避碰功能宜通过船舶搭载的感知设备与决策算法，实现对碰撞风险的独立分析与规避，自主避碰航行模式下，决策主体为自动避碰控制算法，当航行态势感知系统感知到碍航物后，将航行态势信息输入到决策主体（自动避碰控制算法）生成避碰方案（避碰轨迹），船舶运动控制器解析避碰方案生成避碰航向，进而由自动操舵仪控制船舶实现自动避碰，全过程中船舶驾驶员承担监督职能。控制流程见图 5。

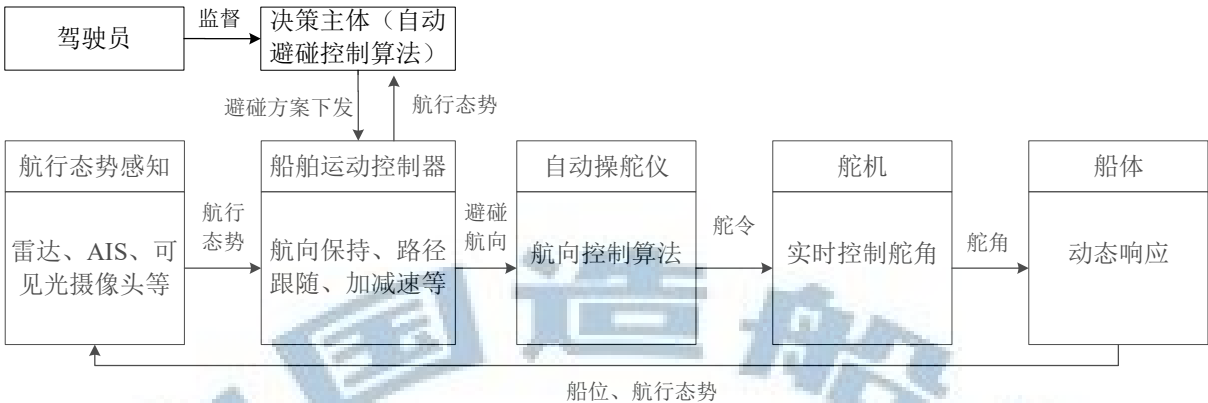


图5 避碰控制模式基本流程

- 6.1.4.2 系统基于多源数据融合构建环境模型，实时感知目标动态信息，结合船舶运动模型与《中华人民共和国内河避碰规则》预测风险并规划规避路径。
- 6.1.4.3 检测到风险时，系统向执行机构发送控制指令，调整航速、航向或执行紧急避让。
- 6.1.4.4 算法应确保快速响应与高效规避能力，并适应浅水、狭窄航道等环境约束。
- 6.1.4.5 自动避碰功能宜独立完成风险评估与规避操作，提升内河自主船舶在复杂航行条件下的安全水平。
- 6.1.4.6 船舶自主避碰功能所需具备的功能至少应包括：
- a) 碰撞危险度自动评估；
 - b) 避碰方案规划（避碰航向决策、避碰路径规划等）；
 - c) 人机交互界面预警；
 - d) 避碰方案下发。

6.2 岸端驾控功能

6.2.1 综合航行信息显示功能

- 6.2.1.1 岸基驾控中心需具有船舶航行信息集中显示的能力，从而实现岸端驾控人员对船舶运行状态的全面掌控。
- 6.2.1.2 综合航行信息显示的信息通常包括：
- a) 船舶航行态势；
 - b) 船载海事雷达画面；
 - c) 船舶周边监视画面（通过多个摄像头拼接覆盖船舶周边 360°视角的画面）；
 - d) 驾驶室内监视画面；
 - e) 主机运行状态；
 - f) 辅机运行状态；
 - g) 舵机系统运行状态；
 - h) 灯具运行状态；
 - i) 重要报警信息等。
- 显示形式可与现有船舶保持一致。

6.2.2 人机交互功能

- 6.2.2.1 人机交互功能应确保岸基驾控中心人员与自动系统间的数据交互，具体要求如下：
- a) 功能目的：支持人员与自动系统间的数据交互；
 - b) 交互界面要求：提供人机交互界面，支持通过操作设备输入驾驶决策信息。
- 6.2.2.2 人机交互功能通常满足以下要求：
- a) 人机交互原则为：
 - 1) 人机数据交互高效性原则；
 - 2) 人机数据交互全面性原则；

- 3) 人机数据交互可信性原则;
- 4) 人机数据交互可靠性原则。
- b) 人机交互功能通常包括:
 - 1) 船舶控制权接管交互;
 - 2) 船舶航行模式交互;
 - 3) 船舶航向交互;
 - 4) 船舶航迹交互;
 - 5) 船舶避碰方案交互。
- c) 岸端驾控过程中应在显眼位置重点向驾驶人员提供以下信息:
 - 1) 船舶航行态势;
 - 2) 船舶前向视角监视画面;
 - 3) 船舶车钟档位;
 - 4) 主机转速;
 - 5) 舵令;
 - 6) 舵角。
- d) 人机交互媒介通常包括:
 - 1) 显示屏;
 - 2) 投影;
 - 3) 软件界面;
 - 4) 实体方向轮;
 - 5) 实体车钟;
 - 6) 鼠标键盘。

6.2.3 航向保持功能

- 6.2.3.1 通过岸基控制中心对船舶航向进行远程监控与调整,确保船舶沿预定航向稳定航行。
- 6.2.3.2 航向保持控制的执行通常依靠船端自动操舵仪实现,岸端驾控中心通过通信网络向船端发送目标航向。
- 6.2.3.3 航向保持期间,岸端通常仅执行安全监控任务。
- 6.2.3.4 航向保持功能执行期间,岸端驾控中心宜考虑对以下数据进行在线和离线评估:
 - a) 船舶实时航向误差(RMS 误差);
 - b) 航向超调;
 - c) 船舶航行风险指数。

6.2.4 航迹跟随功能

- 6.2.4.1 岸基驾控航迹跟随功能通过岸基控制中心对船舶实时监控和远程指令传输,实现船舶沿预设航迹的精确航行,实际的航迹跟随功能通常由船端控制器执行。
- 6.2.4.2 航迹跟随功能执行期间,岸端驾控中心宜考虑对以下数据进行在线和离线评估:
 - a) 船舶实时航迹误差(RMS 误差);
 - b) 航迹超调;
 - c) 船舶航行风险指数。

6.2.5 辅助避碰功能

- 6.2.5.1 岸基驾控的辅助避碰功能应通过岸基控制中心的远程监控与指挥,实现船舶在复杂航行环境下的避碰支持。
- 6.2.5.2 岸基中心综合分析雷达、AIS 等设备上传的实时数据,构建船舶及周边目标的动态环境模型,基于多源数据融合技术与船舶运动模型预测潜在碰撞风险,结合国际避碰规则与环境约束生成航速调整、航向修正或紧急规避指令,并通过通信网络实时发送至船舶。

6.2.6 自主避碰功能

6.2.6.1 岸基驾控的自主避碰功能宜通过岸基控制中心的远程决策与指令传输，协助船舶实现复杂航行环境下的避碰操作。

6.2.6.2 岸基中心整合雷达、AIS 等传感器数据，构建船舶周边动态环境模型，结合船舶运动模型与国际避碰规则预测碰撞风险，生成航速调整、航向修正或紧急避让指令，并通过远程通信系统传输至船舶执行机构。

6.3 自主航行功能

6.3.1 航向保持功能

6.3.1.1 自主航行的航向保持功能宜通过船舶感知与决策系统实现航向稳定控制。

6.3.1.2 船舶通过航向传感器获取实时航向信息，结合预设航行计划与船舶运动模型检测偏航并生成控制指令。

6.3.1.3 系统宜通过执行机构调整舵面修正偏航，确保船舶沿目标航向稳定航行。

6.3.1.4 自主航行过程中，控制系统可采用的航向保持算法可以为：

- a) 自适应PID控制；
- b) 滑膜控制算法；
- c) 模型预测控制；
- d) 智能控制算法。

结合多源传感器数据与航行环境分析，自动应对复杂航行条件如外界风浪、浅水效应和多船交互干扰，展现更强的自适应性和可靠性，全面实现船舶自主化与智能化。

6.3.2 航迹跟随功能

6.3.2.1 自主航行的航迹跟随功能宜通过船舶感知、决策与执行系统实现路径跟随控制。

6.3.2.2 系统通过传感器获取船舶位置、速度及环境信息，结合预设航迹与航行环境计算路径偏差，生成控制指令调整航速和舵角。

6.3.2.3 自主航行系统可采用：

- a) 智能控制；
- b) 反馈线性化控制；
- c) 滑模控制算法。

6.3.2.4 系统宜适应船舶欠驱动特性及内河环境的非线性影响，确保船舶平稳高效跟随参考航迹。

6.3.2.5 系统宜具备自适应性与抗干扰能力，应对浅水、狭窄航道及多船交互等场景，保障自主航行状态下的航行安全。

6.3.3 自主避碰功能

6.3.3.1 自主航行的自主避碰功能应通过船舶感知、决策与执行系统实现风险分析与规避操作。

6.3.3.2 船舶可通过传感器感知周边环境，构建动态环境模型，结合船舶运动特性与国际避碰规则预测风险。

6.3.3.3 系统宜具有实时规划规避路径功能，并向执行机构发送控制指令，实现航速调整、航向修正或紧急避让。

6.3.3.4 自主避碰行动执行前，需要与目标船进行避碰方案自动交互。

6.4 应急接管功能

6.4.1 船端应急接管功能

6.4.1.1 该功能用于船舶自动化系统失效时由船员接管控制，保障航行安全，通常满足以下要求：

- a) 状态监测与信息提示：通过应急操作站实时监测自动化系统状态，并向船员提供故障信息及操作建议；
- b) 异常响应机制：检测到关键设备异常、信号中断或避碰风险时，触发报警提示船员接管，并切换至手动或半自动模式；
- c) 系统集成要求：与船舶感知、通信及操纵系统深度集成，提供船舶运动状态、环境信息及风险评估等实时数据支持；

d) 操作效能：应急接管操作需确保响应时效性，降低自动化失效导致的航行安全风险。

6.4.1.2 船端应急接管功能通常包括如下细分功能：

- a) 驾驶权一键切换功能；
- b) 舵轮应急接管功能；
- c) 车钟应急接管功能；
- d) 航行风险声光报警功能；
- e) 退出自动航行状态声光报警功能。

6.4.2 岸端应急接管功能

6.4.2.1 岸端应急接管功能通常满足下列要求：

- a) 功能目的：在船舶系统失效或船员无法有效响应时，岸基控制中心远程接管船舶操控。
- b) 状态监测：岸基中心通过通信链路接收船舶航速、航向及系统状态信息，分析航行环境与风险。
- c) 响应机制：检测到紧急情况时，岸基系统切换至应急接管模式。
- d) 控制能力：通过远程指令调整航速、修正航向或执行避碰操作。

6.4.2.2 岸端应急接管功能通常包括如下细分功能：

- a) 驾驶权一键切换功能；
- b) 舵轮应急接管功能；
- c) 车钟应急接管功能；
- d) 航行风险声光报警功能；
- e) 退出自动航行状态声光报警功能。

7 内河自主船舶物理架构

7.1 概述

物理架构宜满足以下技术要求：

- a) 物理元素定义：宜明确系统组件、物理接口及数据接口等物理元素的配置规则。
- b) 功能实现要求：物理架构宜提供满足功能架构要求的技术实现方案。
- c) 架构评估依据：架构设计宜支持系统分析验证的有效执行。
- d) 实施基础性：物理架构宜作为系统实施的参考基准。

7.2 船端驾控物理架构

7.2.1 组成

船端驾控物理架构按功能通常分为以下类型：

- a) 航向保持驾控架构；
- b) 路径跟随驾控架构；
- c) 辅助避碰系统架构；
- d) 自动避碰系统架构。

上述架构可独立配置于同一船舶。

7.2.2 船端航向保持驾控物理架构

7.2.2.1 船端航向保持驾控系统通常依托于具备航向保持功能的自动操舵设备，如船舶自动操舵仪。

7.2.2.2 船端航向保持驾控系统设备通常包括：

- a) 自动操舵仪；
- b) 舵机系统；
- c) 舵角采集设备；
- d) 舵角输出设备；
- e) 艏向感知设备；
- f) 航向感知设备；

g) 数据记录仪。

7.2.3 船端路径跟随驾控物理架构

7.2.3.1 船端路径跟随驾控系统通常依托于具备路径跟随控制功能的自动操舵设备，或者另外的路径跟随控制器，如船舶自动操舵仪或路径跟随控制器。

7.2.3.2 船端路径跟随驾控系统设备通常包括：

- a) 自动操舵仪；
- b) 路径跟随控制器；
- c) 舵机系统；
- d) 舵角采集设备；
- e) 舵角输出设备；
- f) 艏向感知设备；
- g) 航向感知设备；
- h) 卫星定位终端设备；
- i) 数据记录仪。

7.2.4 船端辅助避碰系统物理架构

7.2.4.1 船端辅助避碰系统由感知、决策两部分物理设备组成。感知部分通常包括如下传感器：

- a) 海事雷达；
- b) AIS 船台；
- c) 电子航道图；
- d) 测深仪；
- e) GPS；
- f) 激光雷达（可选）；
- g) 可将光/红外摄像机（可选）；
- h) 航行态势融合设备。

各类传感器作用距离和特点如表1所示：

表 1 不同航行态势感知传感器的典型特性

感知设备	作用距离				感知目标类型				特点		
	0-199m	200m-4.99km	5km-19.99km	20km-50km	船舶	航标	礁石	岸线	精度	虚警率	漏警率
激光雷达	●☑	—	—	—	●	●	●	●	高	低	低
可见光/红外	●	●	—	—	●	●	●	●	中	低	低
海事雷达	●	●☑	●☑	—	●	●	—	●	中	中	中
AIS 船台	●	●	●	●☑	●	●	—	—	高	中	高
测深仪	●	—	—	—	—	—	—	—	高	低	低
GPS	●	●	●	●	—	—	—	—	高	低	低
注1：“●”表示传感器对于该距离或者感知目标类型“适用”。 注2：“—”表示传感器对于该距离或者感知目标类型“不适用”。 注3：“☑”表示该传感器为该距离下的主要感知信源。											

7.2.4.2 可引入可见光、红外、激光雷达等先进传感器，通过数据融合实现更为精准、实时的目标感知。决策部分物理设备通常包括：

- a) 航行决策计算机；
- b) 人机交互界面；
- c) 声光报警器；
- d) 语音系统。

7.2.4.3 在目标感知的基础上,根据内河船舶避碰规则和海上避碰规则,对船舶会遇局面进行识别、危险度计算,进而提供避碰建议,避碰建议通常包括:

- a) 碰撞危险度;
- b) 推荐避碰路径;
- c) 推荐避让方向;
- d) 最晚施舵时间。

7.2.4.4 避碰相关参数宜通过以下方式提示操作人员:

- a) 显示形式:可通过显示屏、语音播报或二者组合形式提供;
- b) 报警要求:存在碰撞风险时,应触发声光报警信号;
- c) 报警消除:报警信号应支持人工消除。

7.2.5 船端自动避碰系统物理架构

该系统由船端辅助避碰系统与路径跟随驾控系统组成,功能实现宜满足下列要求:

- a) 系统组成:在船端辅助避碰系统基础上集成路径跟随驾控系统;
- b) 避碰操作流程:驾驶员确认执行避碰操作后,路径跟随驾控系统应依据辅助避碰系统提供的避碰路径自动控制航行;
- c) 返航控制:驾驶员确认让清后,路径跟随驾控系统应控制船舶返回原航迹航行。

7.3 岸端驾控物理架构

岸端驾控物理架构通常包括以下系统:

- a) 显示系统:用于显示船舶航行态势、航行状态及设备信息的显示设备,由联网计算机驱动;
- b) 操控系统:用于输入操控指令的系统,采用舵轮、车钟设备或虚拟仿真界面。系统需配置冗余设备确保可靠性;
- c) 数据处理系统:驱动显示与操控系统的网络及存储设备,需配置冗余设备确保可靠性;
- d) 航行决策控制系统:实现航行路径规划、决策及风险预警的系统,需配置冗余设备确保稳定性。

7.4 船岸一体通信系统物理架构

7.4.1 架构宜满足以下要求:

- a) 物理元素定义:明确系统组件与物理接口的配置规则;
- b) 功能目标:提供满足逻辑架构及系统要求的技术实现方案;
- c) 兼容性要求:需兼容现有船岸通信系统;
- d) 性能要求:为支持远程驾控与自主航行,需提升通信带宽及性能。

7.4.2 船岸一体通信系统物理架构通常包括:

- a) 4G/5G 通信网络;
- b) 船岸通信专用网络;
- c) 射频通信设备;
- d) 网络服务器;
- e) 网络防火墙。

7.4.3 局部水域自主航行船舶的通信架构宜满足:

- a) 技术方案:可采用无线图传及无线数传设备;
- b) 应用场景:适用于局部水域自主航行船舶;
- c) 系统要求:需支持单中心与 Mesh 自组网模式。

7.4.4 船舶自主航行通信协议宜满足:

- a) 协议标准性:宜采用符合国际标准的通信协议,如 RTCM SC10403.3(包含 NMEA0183)、IEC61162 等现有标准;
- b) 视频传输要求:视频传输可采用 RTSP、RTMP 等实时流传输协议。