

### 船岸协同内河智能船舶遥控驾驶场景与功能指南

Guidelines of Ship-Shore Cooperative Inland Shipping Remote Control Systems:  
Scenes and Functions

# 目 次

前言.....	I
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 内河船舶遥控驾驶系统架构.....	3
5 内河船舶遥控驾驶场景与功能分类.....	4
6 内河船舶遥控驾驶场景与功能描述.....	5

## 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。

本文件由中国航海学会提出并归口。

本文件起草单位：武汉理工大学、浙江省交通运输科学研究院、嘉兴市港航管理服务中心、浙江海港内河港口发展有限公司。

本文件主要起草人：黄亚敏、严新平、文元桥、韩海航、方兴龙、魏燕华、戴红良、卢志刚、刘清林、邵洋洋、陈华龙、胡泰威。

# 船岸协同内河智能船舶遥控驾驶场景与功能指南

## 1 范围

本文件规定了船岸协同环境下内河智能船舶遥控驾驶系统、遥控驾驶功能分类与描述、内河船舶遥控驾驶场景与系统要求等内容。

本文件适用于船岸协同环境下有人在船内河智能船舶遥控驾驶应用场景的开发、验证及商用。

## 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。

IMO 国际海上人命安全公约 2009 版  
中华人民共和国海事局 船舶与海上设施法定检验规则  
中华人民共和国海事局 内河船舶法定检验技术规则 2019 版  
中华人民共和国海事局 中华人民共和国内河避碰规则（1991）及修订版（2003）  
中国船级社 智能船舶规范 2024版  
中国船级社 《钢质内河船舶建造规范（2016）》及 2019 修改通报  
T/CIN 003—2021 船舶智能航行系统等级划分与技术水平评定

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1 定义

#### 3.1.1

**船岸协同** ship shore cooperation

由船端与岸端系统构成，船端与岸端相互提供所需信息的一种模式。两个系统进行无缝耦合协同实现优化船岸资源配置，增强船舶智能航行可靠性，提升船舶交通安全和效率。

#### 3.1.2

**遥控驾驶** remote control

一种通过远程控制的方式完成船舶行任务的驾驶模式，又可称为远程驾驶或远程驾控。

#### 3.1.3

**船岸协同船舶遥控驾驶系统** ship-shore cooperative remote control system

通过船舶和岸基中心进行信息交互，实现船舶与船舶之间、船舶与岸基设施之间、船舶与驾控人员之间协同配合的一种智能化系统。

#### 3.1.4

**本船** own ship

装有船载智能终端且运行遥控驾驶应用的目标船舶。

## 3.1.5

**他船 target ship**

除本船以外的其他船舶。

## 3.1.6

**岸基感知模块 shore based sensing module**

包含自然环境数据采集、交通数据采集等功能的部署在岸基的感知硬件模块。

## 3.1.7

**船载感知模块 shipborne sensing module**

包含自然环境数据采集、交通数据采集、本船状态数据采集等功能的部署在船端的感知硬件模块。

## 3.1.8

**船用无线通信 V2X**

船载设备与其他设备通信,包括但不限于船载设备之间通信(V2V)、船载设备与岸基设备通信(V2I)等。

## 3.1.9

**系统延时 system delay**

从岸基或他船等处发送数据后,到本船接收该数据并通过网络层进行信息处理后传递给应用层端到端的延迟时间。

## 3.1.10

**船舶数字孪生体 ship digital twin**

利用船舶物理模型、岸基感知信息及历史航行数据等,在虚拟空间中完成全过程的仿真映射形成的船舶数字映射。

## 3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AIS: 船舶自动识别系统 (Automatic Identification System)

GNSS: 全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System)

HMI: 人机交互界面 (Human Machine Interface)

MRU: 运动参考单元 (Motion Reference Unit)

RCC: 远程控制中心 (Remote Control Center)

VHF: 甚高频 (Very High Frequency)

VSAT: 甚小口径卫星终端站 (Very Small Aperture Terminal)

V2I: 船与岸基终端通信 (Vessel to Infrastructure Communication)

V2V: 船船通信 (Vessel to Vessel Communication)

Wi-Fi: 基于 IEEE 802.11b 标准的无线局域网通信模块

4G: 第四代移动通信技术 (the 4th generation mobile communication technology)

5G: 第五代移动通信技术 (the 5th generation mobile communication technology)

## 4 内河船舶遥控驾驶系统

### 4.1 系统架构

船岸协同内河智能船舶遥控驾驶系统，以下简称内河船舶遥控驾驶系统，旨在通过智能航运系统的船-岸之间的信息交互，实现在水路安全、航行效率、信息服务等与内河船舶辅助驾驶场景相关的各类应用，包括：船端控制子系统、岸端遥控子系统及船岸协同子系统，见图1。

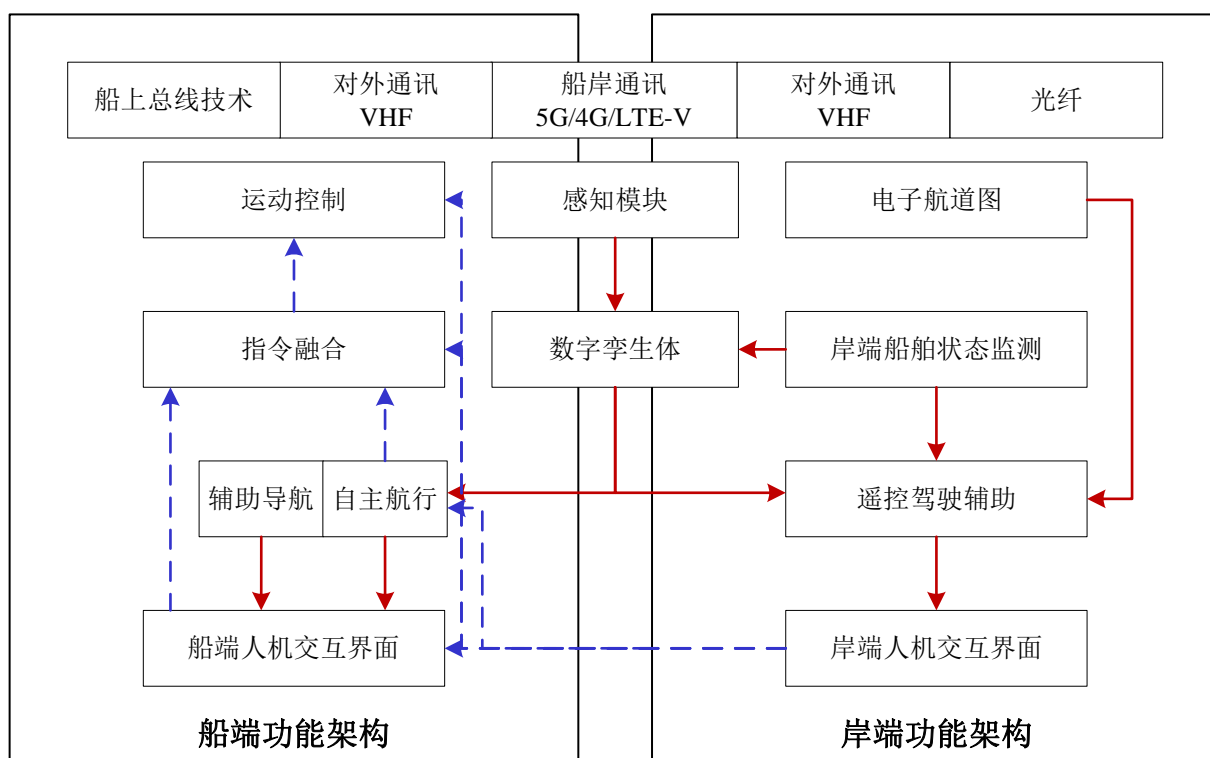


图1 内河智能船舶遥控驾驶系统架构示意图

### 4.2 船岸协同子系统

船岸协同子系统包括：

- 感知模块：利用船端和岸端的各种传感器，对船舶周围的环境进行实时的感知；
- 感知融合：利用不同传感器的数据和信息进行整合和合并，以提供更准确、全面和可靠的环境感知；
- 数字孪生体：根据船岸端数据对数字孪生体进行更新，对船舶操纵进行数字模拟，判断航行安全态势。

### 4.3 船端控制子系统

船端控制子系统包括：

- 运动控制单元：接收远程控制中心的控制指令，实现对船舶的运动控制；
- 指令融合单元：根据远程控制中心发送的各类控制指令，进行逆运动学求解，得到合适的控制律；
- 辅助导航单元：针对紧急情况下，在船员接管船舶过程中，为确保船舶航行安全，向船员提供的辅助导航服务；
- 自主航行单元：在条件允许下，进行短时的航线自动跟踪，实现自主航行；
- 船端人机交互界面：显示船舶及其环境信息，给予船端船员视觉和触觉反馈信息，进行操控交互。

#### 4.4 岸端控制子系统

岸端控制子系统包括：

- 岸端船舶状态监测单元：实时对船舶的航行状态和周围环境进行监测；
- 电子航道图单元：实时再现船舶所处的区域交通状况；
- 远程辅助驾驶单元：根据船舶态势感知的信息，通过人机交互界面对船舶进行远程驾控；
- 岸端人机交互界面：显示船舶及其环境信息，给予岸基驾控人员视觉或触觉反馈信息，进行操控交互。

### 5 遥控驾驶功能分类与描述

#### 5.1 功能分类

内河船舶遥控驾驶功能主要面向船岸协同环境下的智能航行，主要涵盖安全、信息服务、效率三大类，不少于12个典型应用场景（见表1）。

表 1 内河船舶遥控驾驶功能列表

序号	类别	主要通信模式	功能应用名称
S1	安全类（S）	V2I	船舶安全自检
S2		V2I	船岸通信质量监测
S3		V2I	控制权交接
S4		V2I	航行场景再现
S5		V2I	遥控驾驶试操作
S6		V2I	航行安全检测
S7		V2I	遥控驾驶指令校验
S8		V2X(V2I、V2V)	其他辅助驾驶功能
I1	信息服务类（I）	V2I	船岸紧急通信
I2		V2I	多终端驾驶控制
E1	效率类（E）	V2I	多驾控指令支持
E2		V2I	自适应航线跟踪

#### 5.2 功能描述

##### 5.2.1 安全类功能描述

安全类包括船舶安全自检、船岸通信质量监测、控制权交接、航行场景再现、遥控驾驶试操作、航行安全检测、遥控驾驶指令校验和其他辅助驾驶功能。

**船舶安全自检：**在开航前，对影响船舶航行安全的设仪器备进行自检；当监测到设备异常时，及时向船舶本地控制站和岸基远程控制中心发出提示报警信息及故障信息。

**船岸通信质量监测：**船舶由 RCC 控制，船端与岸端系统持续监测并提示船岸通信信号，预测通信链路质量，并发出中断警报；当通信质量不佳时，自动调整到备用信道，并优化通信质量。

**控制权交接：**当船舶会遇局面或航行场景过于复杂，超出船舶遥控驾驶处理能力，发出预警，并将船舶控制权转给在船船员。

**航行场景再现：**船舶由 RCC 控制，在岸基 RCC 能得到实时的航行场景，并提供多视角自由切换功能。

**遥控驾驶试操作：**在船舶数字孪生体中输入虚拟信号，模拟船舶运动轨迹与船舶周围环境变化情况，并将模拟的结果反馈给远程驾控人员。

**航行安全检测：**船舶航行中，船舶对当前安全态势进行预测，对于可能发生的危险进行提前预警，确保持有合理的操作余量，提醒船上值班船员待命，随时接管船舶。

**遥控驾驶指令校验：**在航行过程中，船舶自身对RCC发送的操作指令进行模拟验证，检测指令的安全性，保证船舶的安全航行。

### 5.2.2 信息服务类功能描述

信息服务类包括船岸紧急通信和多终端驾驶控制单元。

**船岸紧急通信：**系统检测到船岸通信信号出现延时、中断等情况，无法进行通信，则在岸端与船端同时触发报警，启用紧急通信设备，提醒在船船员做好接管船舶的准备。并定时对通信设备进行常规检查，保证设备在紧急情况下的有效性。

**多终端驾驶控制单元：**船舶航行过程中，RCC 发出预警信息，船上人员无论身处何地，都能接收到信息并通过各种形式的操作端做出反馈操作。

### 5.2.3 效率类功能描述

效率类包括多驾控指令支持和自适应航线跟踪。

**多驾控指令支持：**在船舶遥控驾驶过程中，岸端RCC向船舶传递各种控制指令，车载机器根据获取到得控制指令，经过仲裁、融合或优化，得出最优的车舵控制指令。

**自适应航线跟踪：**船舶在条件允许时，实现航线的自适应航线跟踪，并确保船舶船位控制在一定范围内。



## 6 内河船舶遥控驾驶场景与系统要求

### 6.1 船舶安全自检

#### 6.1.1 主要场景

在开航前，对影响船舶航行安全的设备进行自检，仪器设备运行测试一遍，当监测到设备异常时及时向船舶本地控制站和岸基远程控制中心发出提示报警信息及故障信息。船舶安全自检主要适用场景如下：船舶遥控驾驶开航前的准备工作。示意图见图 2。

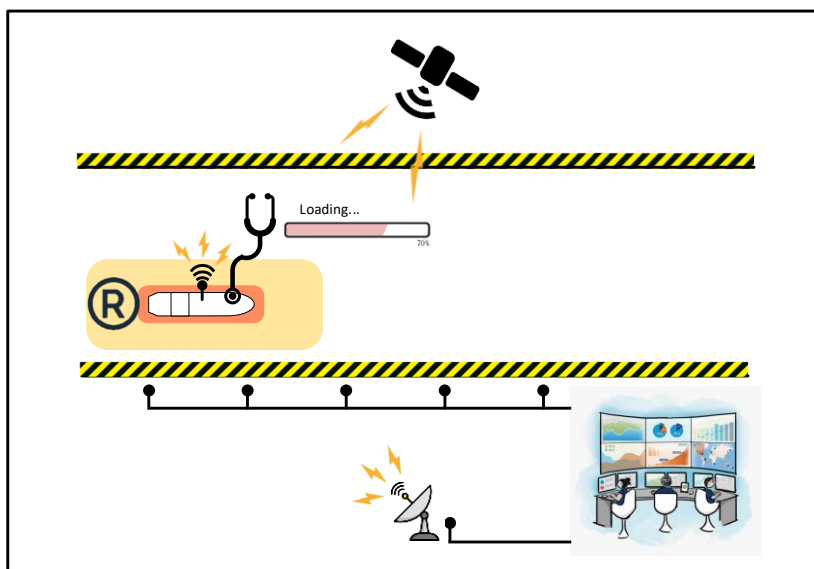


图 2 船舶安全自检场景

#### 6.1.2 系统基本工作原理

船舶安全自检的系统基本工作原理为：船舶航行前，船端系统对涉及航行安全的各种设备进行自检，若发现设备状态异常，评估设备对航行安全影响，发出相应报警信息及故障提示，通知相关人员对设备进行维修。设备维护完毕，再进行自检，确保已无安全故障，警报解除，则可进开航准备。

#### 6.1.3 通信方式

船舶安全自检的船岸 V2I 通信可采用无线电通信、4G、5G 等无线通信方式及其组合。

#### 6.1.4 基础性能要求

船舶安全自检的基础性能要求如下：

- 自检系统数据更新频率：自拟，以拟进行自检的设备数据更新频率为准；
- 自检的关键设备：主柴油机、推进和/或辅助发电用柴油机、推进轴系、辅助系统等。

#### 6.1.5 数据交互需求

船舶安全自检的数据交互需求应满足表 2 要求。

表 2 船舶安全自检数据交互需求

编号	数据	单位	频率	精度	数据来源
1	风机、泵组监测系统	-	自拟 <sup>1</sup>	合格 <sup>2</sup>	船舶
2	动力系统	-	自拟	合格	船舶
3	配电板、发电机组、电池监测系统	-	自拟	合格	船舶
4	火灾报警、阀门、液位监测系统	-	自拟	合格	船舶
5	通信与信号系统	-	自拟	合格	船舶

注释 1: 频率自拟是指产品自带的更新频率, 应满足产品相应标准;

注释 2: 精度合格是指推送结果满足产品可靠性标准。

## 6.2 船岸通信质量监测

### 6.2.1 主要场景

在船舶遥控驾驶中, 船端与岸端系统持续监测并显示船岸通信信号质量, 预测通信链路质量, 并发出中断警报; 当通信质量不佳时, 自动调整到备用信道或其他通信方式, 并优化通信质量。

船岸通信质量监测主要适用场景: 船舶遥控驾驶全过程。示意图见图 3。

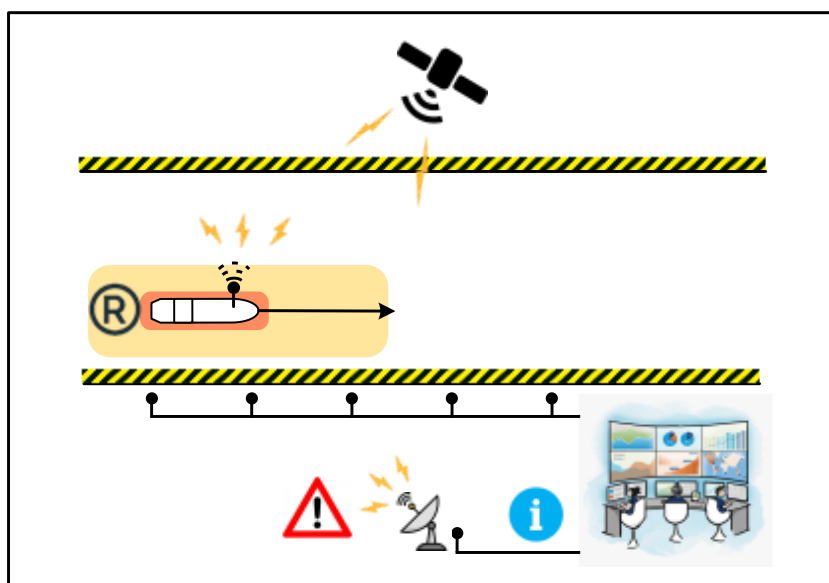


图 3 船岸通信异常场景

### 6.2.2 系统基本工作原理

船岸通信质量监测的系统基本工作原理为: 当船舶航行时, 系统持续监测船岸通信质量, 并在船端与岸端系统显示船岸通信质量; 当系统监测到船舶所处区域船岸通信信号持续减弱并减弱到一定阈值以下时, 发出通信中断预警提示, 自动启动备用通信方式, 优化通信质量, 保证船岸之间的通信正常稳定。

### 6.2.3 通信方式

船岸通信质量监测的船岸 V2I 通信可采用 4G、5G、VHF 等无线通信方式及其组合。

### 6.2.4 基础性能要求

基础性能要求如下：

- a) 船舶航行速度：小于 14 节；
- b) 通信质量监测频率：10Hz；
- c) 船岸通信距离：4G 通信距离；
- d) HMI 具备声光报警功能。

### 6.2.5 数据交互需求

船岸通信质量监测的数据交互需求应满足表 3 要求。

表 3 船岸通信质量监测数据交互需求

编号	数据	单位	频率	精度	数据来源
1	时刻	ms	-	1	船舶/岸基
2	计算资源	-	1Hz	-	船舶/岸基
3	储存资源	-	1Hz	-	船舶/岸基
4	带宽信息	-	1Hz	-	船舶/岸基
5	通信设备检测频率	-	1 次/4h	-	船舶

## 6.3 控制权交接

### 6.3.1 主要场景

当船舶预判会遇局面复杂，超出船舶遥控驾驶处理能力，发出预警，并将船舶控制权转给在船船员。

控制权交接的主要场景如下：

- a) 当本船与多艘船舶形成船舶会遇局面，船舶数量较多、会遇局面复杂，超出船舶能够实现的遥控驾驶功能时；
- b) 船舶航行于复杂水域时，启动人机控制交接；
- c) 船端系统失效，发生设备故障以及通信故障时，启动人机控制交接，进行应急操作。

控制权交接的主要场景见图 4。

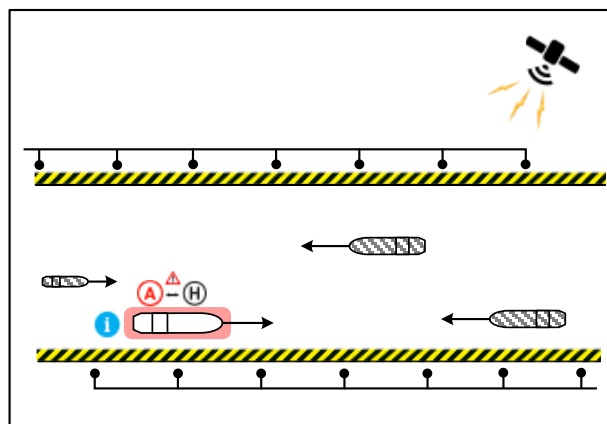


图 4 控制权交接场景

### 6.3.2 系统基本原理

控制权交接的系统基本原理为：在船舶航行中，船端或岸端系统检测到复杂的/紧急的船舶会遇局面/场景，超出船舶遥控驾驶处理能力。此时，系统发出声光预警信号，岸端 RCC 与船上驾驶员进行控制权的交接，在控制权交接过程中，船舶进行短时的自主航行，直到控制权交接完毕，退出自主航行程序，由船上人员接管控制船舶。

### 6.3.3 通信方式

控制权交接的V2I通信可采用无线电通信、4G、5G、VSAT等无线通信方式及其组合。

### 6.3.4 基础性能要求

控制权交接的基础性能要求如下：

- a) 船舶航行速度：小于 14 节；
- b) 数据更新频率：10Hz；
- c) 感知范围半径：不小于 1500m；
- d) 感知误差：小于 1m；
- e) 船员接管所需时间：小于船舶能够应急状态下航行的最大时间；
- f) 控制误差：不大于 2 倍船宽。

### 6.3.5 数据交互需求

控制权交接的数据交互需求应满足表4要求。

表 4 控制权交接数据交互需求

编号	数据	单位	频率	精度	数据来源
1	时刻	ms	-	1	船舶/岸基
2	船舶尺度	m	-	0.1	船舶
3	船舶坐标位置	m	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	<1	船舶/岸基
4	船舶航向角	deg	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	0.2	船舶
5	船舶速度	m/s	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	0.1	船舶
6	船舶纵向加速度	m/s <sup>2</sup>	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	0.5	船舶
7	船舶首摇角速度（转速）	deg/s	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	0.2	船舶
8	船舶舵角	deg	10Hz	0.1	船舶
9	船舶螺旋桨转速	r/s	1Hz	1	船舶
10	船舶水面高度	m	10Hz	0.2	船舶/岸基

11	应舵时间	s	-	<0.1	船舶
12	船舶吃水	m	10Hz	0.2	船舶/岸基
13	航道水深	m	10Hz	测深仪量程 1%	船舶/岸基
14	航道尺度	m	10Hz	0.1	岸基
15	能见度	m	1次/h	10	船舶/岸基
16	流向	deg	1次/min	0.1	船舶/岸基
17	流速	m/s	1次/min	0.1	船舶/岸基
18	风向	deg	3min 平均风向, 更新秒级	2	船舶/岸基
19	风速	m/s	3min 平均风向, 更新秒级	0.2	船舶/岸基

## 6.4 航行场景再现

### 6.4.1 主要场景

船舶由RCC控制，在岸基RCC能得到实时的航行场景，并提供多视角自由切换功能。航行场景再现的功能包括但不限于以下情形：

- 船岸通信链路正常时，RCC 显示船载感知数据/视频，再现本船实时航行场景，并支持多视角自由切换；
- 通信存在短系统延时，RCC 再现短时预测的航行场景，并支持多视角自由切换；
- 通信存在长系统延时，RCC 利用岸基传感器获取的岸侧感知数据（如岸侧视频等），再现航行场景。

航行场景再现的主要场景，示意图见图5。

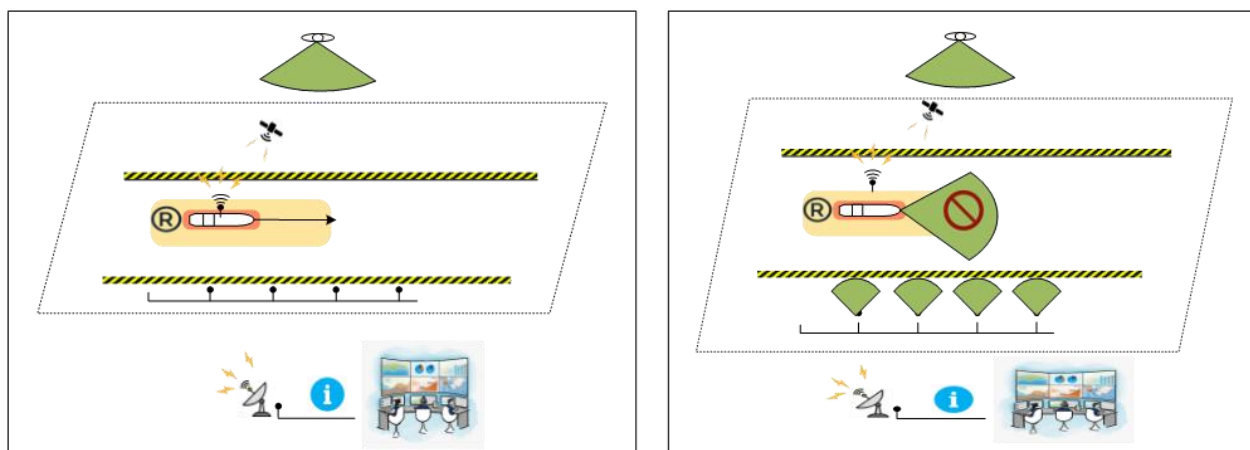


图5 航行场景再现与多视角切换

### 6.4.2 系统基本原理

航行场景再现的系统基本原理为：船舶在航行过程中，在通信信号正常时，岸端 RCC 能够获取当前船舶的驾驶室视角，船载感知模块能实时传输船舶航行场景，且 RCC 能自由切换舱内视角、全景视角、岸基视角；当船岸通信存在较短延迟，岸端 RCC 可对场景进行短时预测；当船岸通信存在长

延迟，通信异常，无法满足相关视频数据的传输，岸端 RCC 可调用岸基感知模块获取当前场景进行辅助决策，并结合船载感知模块传输的关键文本信息对船舶进行操控。

### 6.4.3 通信方式

航行场景再现的船岸V2I通信可采用无线电通信、4G、5G、VSAT等无线通信方式及其组合。

### 6.4.4 基础性能要求

航行场景再现的基础性能要求如下：

- a) 船舶航行速度：小于 14 节；
- b) 船端感知数据更新频率：
  - 1) 距本船 100m 内：20Hz；
  - 2) 距本船 100m-300m：10Hz；
  - 3) 距本船 300m 以上：1Hz。
- c) 本船的系统延迟：不大于 100ms；
- d) 流媒体数据延迟：不大于 2s；
- e) 其他数据船岸端到端的系统延迟：不大于 1s；
- f) 感知视野角度范围：水平方向上从船舶正前至左右舷各 112.5 度的视角范围内实时视频。
- g) 视频图像分辨率：1080P、30FPS（60FPS）；
- h) 通信带宽：不小于 10Mbps；
- i) 船舶感知范围：不小于 1500m。

### 6.4.5 数据交互需求

航行场景再现的数据交互需求应满足表5要求。

表 5 航行场景再现数据交互需求

编号	数据	单位	频率	精度	数据来源
1	时刻	ms	-	1	船舶/岸基
2	船舶尺度	m	-	0.1	船舶
3	船舶坐标位置	m	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	<1	船舶/岸基
4	船舶航向角	deg	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	0.2	船舶
5	船舶速度	m/s	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	0.1	船舶
6	船舶纵向加速度	m/s <sup>2</sup>	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	0.5	船舶
7	船舶首摇角速度（转速）	deg/s	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	0.2	船舶
8	船舶水面高度	m	10Hz	0.2	船舶/岸基

9	船舶吃水	m	10Hz	0.2	船舶/岸基
10	航道水深	m	10Hz	测深仪量程 1%	船舶/岸基
11	航道尺度	m	10Hz	0.1	岸基
12	能见度	m	1次/h	10	船舶/岸基
13	流向	deg	1次/min	0.1	船舶/岸基
14	流速	m/s	1次/min	0.1	船舶/岸基
15	风向	deg	3min 平均风向, 更新秒级	2	船舶/岸基
16	风速	m/s	3min 平均风向, 更新秒级	0.2	船舶/岸基

## 6.5 遥控驾驶试操作

### 6.5.1 主要场景

岸端 RCC 远程驾控人员通过 HMI 输入驾控指令，船舶数字孪生体根据接收的驾控指令信号模拟船舶运动轨迹与船舶周围环境变化情况，并将模拟的结果通过 HMI 反馈给 RCC 远程驾控人员。示意图见图 6。遥控驾驶试操作的主要场景为：在船舶遥控驾驶过程，实时呈现驾控指令的作用效果。

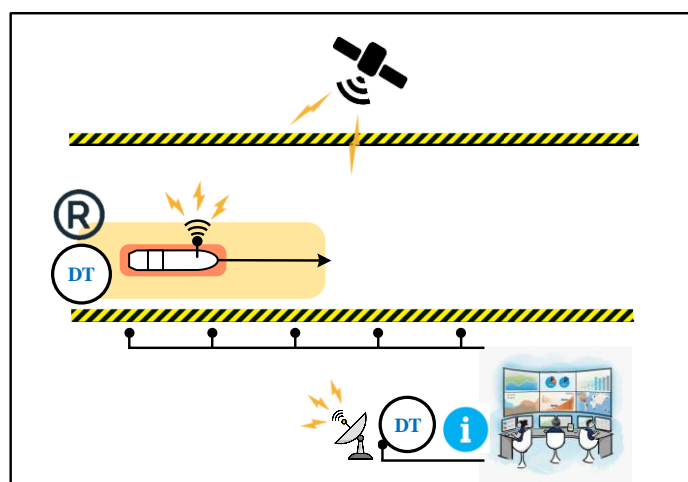


图 6 遥控驾驶试操作场景

### 6.5.2 系统基本原理

遥控驾驶试操作的系统基本原理为：在遥控驾驶过程中，岸端 RCC 驾控人员利用船舶数字孪生体对驾控指令操作效果进行模拟，并将模拟结果通过 HMI 呈现给驾控人员。若在此操作指令下，船舶航行是安全的，及满足船舶安全距离要求，则向船端系统发布该操作指令；否则发布提示信息，由驾控人员确认是否执行指令。

### 6.5.3 通信方式

遥控驾驶试操作的V2I通信可采用无线电通信、4G、5G、VSAT等无线通信方式及其组合。

#### 6.5.4 基础性能要求

遥控驾驶试操作的基础性能要求如下：

- a) 船舶航行速度：小于 14 节；
- b) 舵角数据采集频率不低于 10Hz；
- c) 螺旋桨转速数据采集频率不低于 1Hz；
- d) 其他数据更新频率：10Hz；
- e) 船岸安全距离范围：不小于 2 倍船宽；
- f) 感知范围半径：不小于 1500m；
- g) 航道图误差：不大于 0.1m；
- h) 定位精度误差：不大于 0.5m；
- i) 通信带宽：不小于 10Mbps；
- j) 船舶数字孪生体状态误差：小于允许的航迹带宽度。

#### 6.5.5 数据交互需求

遥控驾驶试操作的数据交互需求应满足表6要求。

表 6 遥控驾驶试操作数据交互需求

编号	数据	单位	频率	精度	数据来源
1	时刻	ms	-	1	船舶/岸基
2	船舶尺度	m	-	0.1	船舶
3	船舶坐标位置	m	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	<1	船舶/岸基
4	船舶航向角	deg	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	0.2	船舶
5	船舶速度	m/s	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	0.1	船舶
6	船舶纵向加速度	m/s <sup>2</sup>	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	0.5	船舶
7	船舶首摇角速度（转速）	deg/s	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	0.2	船舶
8	船舶舵角	deg	10Hz	0.1	船舶
9	船舶螺旋桨转速	r/s	1Hz	1	船舶
10	船舶水面高度	m	10Hz	0.2	船舶/岸基
11	应舵时间	s	-	<0.1	船舶
12	船舶吃水	m	10Hz	0.2	船舶/岸基
13	航道水深	m	10Hz	测深仪量程 1%	船舶/岸基



14	航道尺度	m	10Hz	0.1	岸基
15	能见度	m	1次/h	10	船舶/岸基
16	流向	deg	1次/min	0.1	船舶/岸基
17	流速	m/s	1次/min	0.1	船舶/岸基
18	风向	deg	3min 平均风向, 更新秒级	2	船舶/岸基
19	风速	m/s	3min 平均风向, 更新秒级	0.2	船舶/岸基

## 6.6 航行安全检测

### 6.6.1 主要场景

船舶航行中，船舶对当前安全态势进行预测，对于可能发生的危险进行提前预警，确保留有合理的操作余量，通知船上值班船员待命，做好随时接管船舶的准备。航行安全检测的主要场景为：船舶遥控驾驶全过程。见图7。

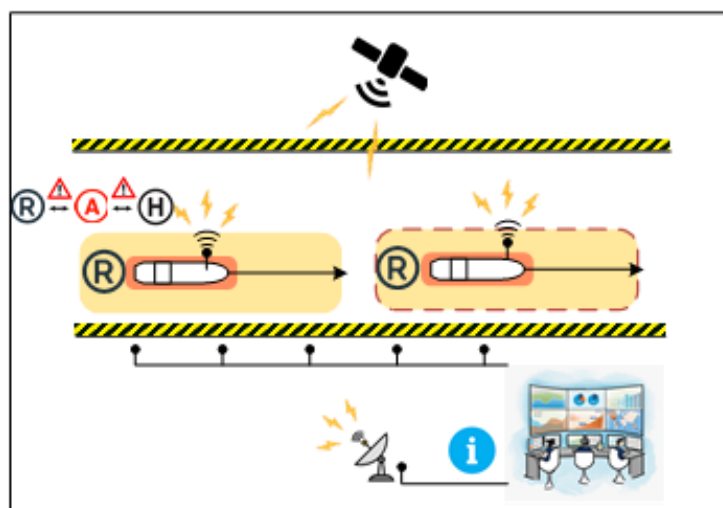


图7 航行安全检测场景

### 6.6.2 系统基本原理

航行安全检测的系统基本原理为：船舶航行中，船端或岸端系统预测到船舶未来的局面复杂，发出预警信息，并反馈到岸端RCC进行再次研判，待复杂局面得以确认后，通过报警装置通知船上人员到驾驶室进行待命。船端船员查看航行安全态势，等待命令随时做好控制权交接的程序，准备接管船舶。

### 6.6.3 通信方式

航行安全检测的V2I通信可采用无线电通信、4G、5G、VSAT等无线通信方式及其组合。

### 6.6.4 基础性能要求

航行安全检测的基础性能要求如下：

- a) 船舶航行速度：小于14节

- b) 数据更新频率：10Hz
- c) 感知范围半径：不小于 1500m；
- d) 感知误差：小于 1m；
- e) 船员接管所需时间：小于船舶能够应急状态下航行的最大时间；
- f) 控制误差：不大于 2 倍船宽。

### 6.6.5 数据交互需求

航行安全检测的数据交互需求应满足表7要求。

表 7 航行安全检测数据交互需求

编号	数据	单位	频率	精度	数据来源
1	时刻	ms	-	1	船舶/岸基
2	船舶尺度	m	-	0.1	船舶
3	船舶坐标位置	m	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	<1	船舶/岸基
4	船舶航向角	deg	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	0.2	船舶
5	船舶速度	m/s	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	0.1	船舶
6	船舶纵向加速度	m/s <sup>2</sup>	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	0.5	船舶
7	船舶首摇角速度（转速）	deg/s	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	0.2	船舶
8	船舶舵角	deg	10Hz	0.1	船舶
9	船舶螺旋桨转速	r/s	1Hz	1	船舶
10	船舶水面高度	m	10Hz	0.2	船舶/岸基
11	应舵时间	s	-	<0.1	船舶
12	船舶吃水	m	10Hz	0.2	船舶/岸基
13	航道水深	m	10Hz	测深仪量程 1%	船舶/岸基
14	航道尺度	m	10Hz	0.1	岸基
15	能见度	m	1 次/h	10	船舶/岸基
16	流向	deg	1 次/min	0.1	船舶/岸基
17	流速	m/s	1 次/min	0.1	船舶/岸基
18	风向	deg	3min 平均风向，更新秒级	2	船舶/岸基
19	风速	m/s	3min 平均风向，更新秒级	0.2	船舶/岸基

## 6.7 遥控驾驶指令校验

### 6.7.1 主要场景

在航行过程中，船舶自身对RCC发送的操作指令进行模拟验证，检测指令的安全性，保证船舶的安全航行。遥控驾驶指令校验的主要场景为：

- a) 航行于狭窄航道、复杂水域、弯曲航道或桥区水域时；
- b) 船舶遥控驾驶进行近距离避碰操作前。

遥控驾驶指令校验的主要场景见图 8。

### 6.7.2 系统基本原理

遥控驾驶指令校验的系统基本原理为：船舶航行中，船端系统接收到 RCC 发出的控制指令，在船舶本地的数字孪生体中进行指令操作模拟，若在此操作指令下，船舶航行是安全的，则执行该操作指令，否则拒绝执行指令，并由船舶根据当前态势，自主决定执行何种安全操作指令。

### 6.7.3 通信方式

遥控驾驶指令校验的V2I通信可采用无线电通信、4G、5G、VSAT等无线通信方式及其组合。

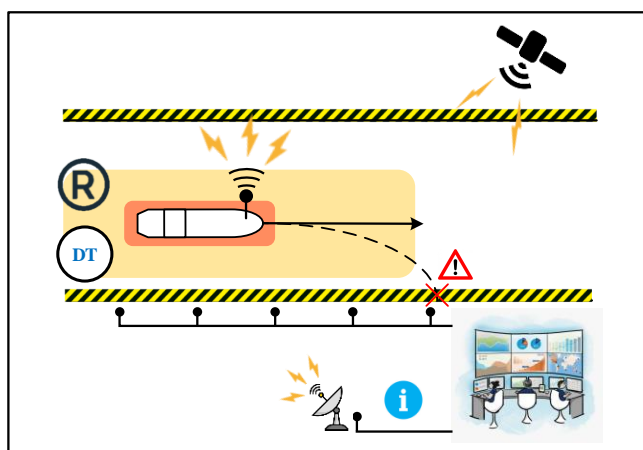


图 8 遥控驾驶指令校验场景

### 6.7.4 基础性能要求

遥控驾驶指令校验的基础性能要求如下：

- a) 船舶航行速度：小于 14 节；
- b) 数据更新频率：10Hz；
- c) 感知范围半径：不小于 1500m；
- d) 定位精度误差：不大于 0.5m；
- e) 航道图精度误差：不大于 0.1m；
- f) 船岸安全距离：不小于 2 倍船宽；
- g) 本船的系统延迟：不大于 100ms；
- h) 船岸端到端的系统延迟：不大于 1s；

- i) 流媒体数据延迟：不大于 2s；  
j) 船舶数字孪生体状态误差：不大于允许的航迹带宽度。

### 6.7.5 数据交互需求

遥控驾驶指令校验的数据交互需求应满足表8要求。

表 8 遥控驾驶指令校验数据交互需求

编号	数据	单位	频率	精度	数据来源
1	时刻	ms	-	1	船舶/岸基
2	船舶尺度	m	-	0.1	船舶
3	船舶坐标位置	m	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	<1	船舶/岸基
4	船舶航向角	deg	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	0.2	船舶
5	船舶速度	m/s	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	0.1	船舶
6	船舶纵向加速度	m/s <sup>2</sup>	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	0.5	船舶
7	船舶首摇角速度（转速）	deg/s	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	0.2	船舶
8	船舶舵角	deg	10Hz	0.1	船舶
9	船舶螺旋桨转速	r/s	1Hz	1	船舶
10	船舶水面高度	m	10Hz	0.2	船舶/岸基
11	应舵时间	s	-	<0.1	船舶
12	船舶吃水	m	10Hz	0.2	船舶/岸基
13	航道水深	m	10Hz	测深仪量程 1%	船舶/岸基
14	航道尺度	m	10Hz	0.1	岸基
15	能见度	m	1 次/h	10	船舶/岸基
16	流向	deg	1 次/min	0.1	船舶/岸基
17	流速	m/s	1 次/min	0.1	船舶/岸基
18	风向	deg	3min 平均风向，更新秒级	2	船舶/岸基
19	风速	m/s	3min 平均风向，更新秒级	0.2	船舶/岸基
20	远程驾控指令	-	与通信频率保持一致	-	岸基

## 6.8 船岸紧急通信

### 6.8.1 主要场景

系统检测到船岸通信信号出现延时、中断等情况，无法维持正常通信，则在岸端与船端同时触发报警，启用紧急通信设备，提醒在船船员做好接管船舶的准备。并定期对通信设备进行常规检查，保证设备在紧急情况下的有效性。船岸紧急通信的主要场景为：遥控驾驶过程中船岸通信链接突然中断。场景示意图见图9。

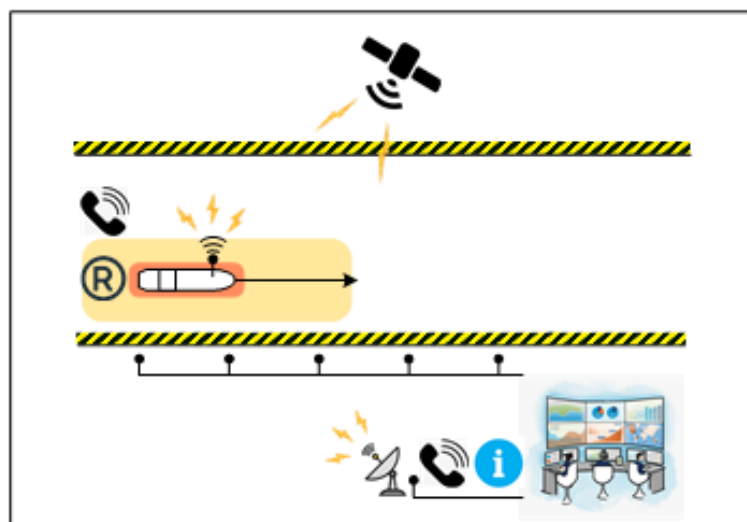


图9 船岸紧急通信场景

### 6.8.2 系统基本工作原理

船岸紧急通信的系统基本工作原理为：船舶航行中，船端或岸端系统检测到船岸通信信号出现延时、中断等情况，则在船端和岸端同时触发报警信息，启动紧急通信设备，RCC 驾控人员与船员确认通信情况和此时船舶的安全态势，直至通信恢复正常，才退出紧急通信程序。每个值班班次换班时，对紧急通信设备进行常规检测，测试其性能。

### 6.8.3 通信方式

船岸紧急通信的船岸V2I通信可采用无线电通信、VHF、VSAT等无线通信方式及其组合。

### 6.8.4 基础性能要求

船岸紧急通信的基础性能要求如下：

- a) 数据更新频率：10Hz；
- b) 通信设备检测频率：与驾控人员交接换班频率一致；
- c) 通信带宽：不小于 2Mbps；
- d) 通信系统延时：不大于 100ms；
- e) HMI 具备声光报警功能。

### 6.8.5 数据交互需求

船岸紧急通信的数据交互需求见表9。

表 9 船岸紧急通信数据交互需求

编号	数据	单位	频率	精度	数据来源
1	时刻	ms	-	1	船舶/岸基
2	船舶坐标位置	m	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	<1	船舶/岸基
3	计算资源	-	1Hz	-	船舶/岸基
4	储存资源	-	1Hz	-	船舶/岸基
5	带宽信息	-	1Hz	-	船舶/岸基
6	通信设备检测频率	-	1次/4h	-	船舶

## 6.9 多终端驾驶控制

### 6.9.1 主要场景

船舶航行过程中，岸端 RCC 发出预警信息，船上人员无论身处何地，都能接收到信息并通过各种形式的操作端做出反馈操作。多终端驾驶控制的主要场景为：船舶遥控驾驶全过程。见图 10。

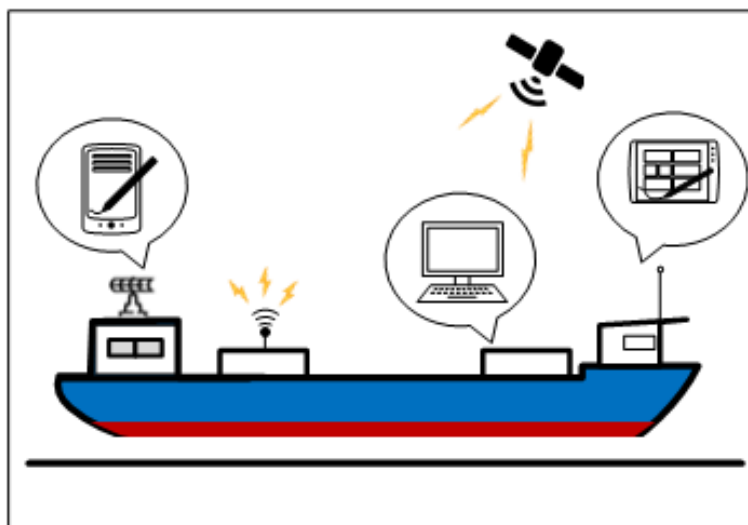


图 10 多终端驾驶控制场景

### 6.9.2 系统基本原理

多终端驾驶控制的系统基本原理为：船舶航行中船端船员佩戴移动操作终端或值守在具备 HMI 操作终端的区域，一旦接收到远程控制中心的控制权接管请求，能第一时间接收到信息，通过 HMI 做出回应，并接管船舶。

### 6.9.3 通信方式

多终端驾驶控制单元的V2I通信可采用无线电通信、4G、5G、VSAT等无线通信方式及其组合；本船内部网络可采用Wi-fi、光纤等方式。

#### 6.9.4 基础性能要求

多终端驾驶控制单元的基础性能要求如下：

- a) 船舶航行速度：小于 14 节；
- b) 数据更新频率：10Hz；
- c) 通信带宽：10Mbps；
- d) 视频图形分辨率：1080P、30FPS（60FPS）；
- e) 本船的系统延迟：不大于 100ms；
- f) 船岸端到端的系统延迟：不大于 1s；
- g) 流媒体数据延迟：不大于 2s。

#### 6.9.5 数据交互需求

多终端驾驶控制单元的数据交互需求应满足表10要求。

表 10 多终端驾驶模块数据交互需求

编号	数据	单位	频率	精度	数据来源
1	导航雷达数据	-	推送	推送	船舶
2	AIS 数据	-	推送	推送	船舶
3	GPS 数据	-	推送	推送	船舶
4	测深仪数据	-	推送	推送	船舶
5	MRU 数据	-	推送	推送	船舶
6	风速风向仪数据	-	推送	推送	船舶
7	摄像单元视觉数据	-	推送	推送	船舶
8	船舶驾驶台监控视频	-	推送	推送	船舶
9	其他可输出数据	-	推送	推送	船舶
10	风机、泵组监测系统数据	-	推送	推送	船舶
11	动力系统数据	-	推送	推送	船舶
12	配电板、发电机组、电池监测数据	-	推送	推送	船舶
13	火灾报警、阀门、液位监测系统数据	-	推送	推送	船舶
14	推进器指令	-	推送	推送	船舶
15	舵机指令	-	推送	推送	船舶
16	锚机指令	-	推送	推送	船舶
17	侧推指令	-	推送	推送	船舶
18	计算资源	-	1Hz	-	船舶
19	储存资源	-	1Hz	-	船舶
20	带宽信息	-	1Hz	-	船舶

## 6.10 多驾控指令支持

### 6.10.1 主要场景

在船舶遥控驾驶过程中，岸端RCC向船舶传递各种控制指令，船舶根据不同的控制指令，求解出最优的车舵控制指令。多驾控指令支持的主要场景为：船舶处于船岸通信链接正常遥控驾驶过程。示意图见图11。

### 6.10.2 系统基本原理

多驾控指令支持的系统基本原理为：船舶航行中，岸端系统发送各类控制指令，如船舶跟踪轨迹、期望的航速和航向、或者直接的车舵指令；船端系统接收到不同控制指令（如轨迹、航速与航向等）后，进行逆向运动学求解出最优的车舵控制指令，及时对船舶进行运动控制。

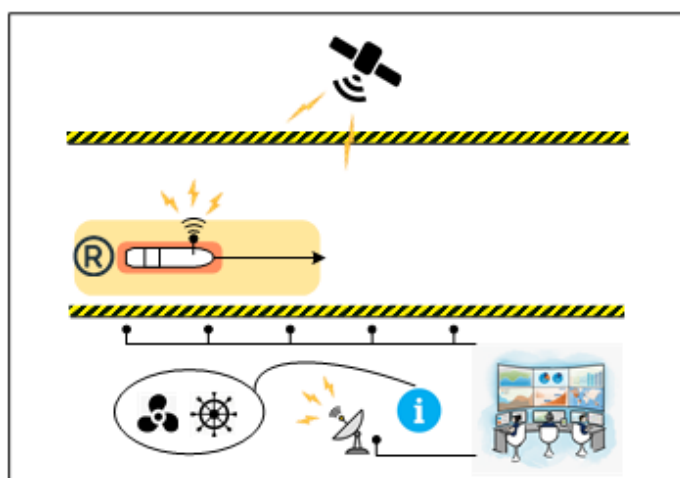


图 11 多驾控指令支持场景

### 6.10.3 通信方式

多驾控指令支持的V2I通信可采用无线电通信、4G、5G、VSAT等无线通信方式及其组合。

### 6.10.4 基础性能要求

多驾控指令支持的基础性能要求如下：

- a) 船舶航行速度：小于 14 节；
- b) 数据更新频率：不低于 10Hz；
- c) 船岸安全距离：不小于 2 倍船宽；
- d) 感知范围半径：不小于 1500m；
- e) 航道图精度误差：不大于 0.1m；
- f) 定位精度误差：不大于 0.5m；
- g) 通信带宽：不小于 10Mbps；
- h) 控制误差：不高于 2 倍船宽。

### 6.10.5 数据交互需求

多驾控指令支持的数据交互需求应满足表11要求。



表 11 多驾控指令支持数据交互需求

编号	数据	单位	频率	精度	数据来源
1	时刻	ms	-	1	船舶/岸基
2	船舶尺度	m	-	0.1	船舶
3	船舶坐标位置	m	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	<1	船舶/岸基
4	船舶航向角	deg	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	0.2	船舶
5	船舶速度	m/s	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	0.1	船舶
6	船舶纵向加速度	m/s <sup>2</sup>	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	0.5	船舶
7	船舶首摇角速度（转速）	deg/s	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	0.2	船舶
8	船舶舵角	deg	10Hz	0.1	船舶
9	船舶螺旋桨转速	r/s	1Hz	1	船舶
10	船舶水面高度	m	10Hz	0.2	船舶/岸基
11	应舵时间	s	-	<0.1	船舶
12	船舶吃水	m	10Hz	0.2	船舶/岸基
13	航道水深	m	10Hz	测深仪量 程 1%	船舶/岸基
14	航道尺度	m	10Hz	0.1	岸基
15	能见度	m	1 次/h	10	船舶/岸基
16	流向	deg	1 次/min	0.1	船舶/岸基
17	流速	m/s	1 次/min	0.1	船舶/岸基
18	风向	deg	3min 平均风 向，更新秒级	2	船舶/岸基
19	风速	m/s	3min 平均风 向，更新秒级	0.2	船舶/岸基
20	远程驾控指令	-	与通信频率保 持一致	-	岸基

## 6.11 自适应航线跟踪

### 6.11.1 主要场景

船舶在条件允许时，实现航线的自适应航线跟踪，并确保船舶船位控制在一定范围内。自适应航向跟踪的主要场景为：当航行水域水文、气况良好，船舶交通稀疏，船舶可进行航线跟踪。自适应航

线跟踪的主要场景见图 12。

### 6.11.2 系统基本原理

自适应航向跟踪的系统基本原理为：船端系统根据 RCC 发送的航路信息、环境信息（如风、流等），结合受控船舶当前的运动状态，自主地生成一系列车舵控制指令，使船舶能够在计划航线上航行；同时，船端系统能估计船舶控制的航迹带范围，并将航迹带范围反馈给岸端 RCC 远程驾控人员。

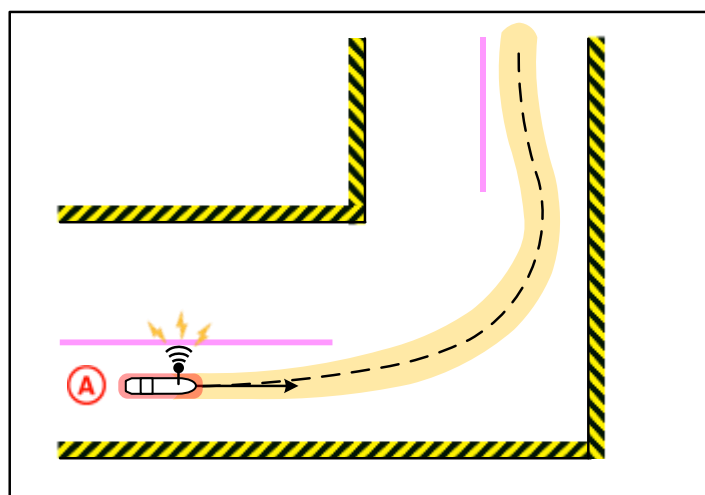


图 12 自适应航线跟踪场景

### 6.11.3 通信方式

自适应航线跟踪功能的V2I通信可采用无线电通信、4G、5G、VSAT等无线通信方式及其组合。

### 6.11.4 基础性能要求

自适应航线跟踪的基础性能要求如下：

- a) 船舶航行速度：小于 14 节；
- b) 数据更新频率：10Hz；
- c) 感知误差：小于 1m；
- d) 控制误差：小于 2 倍船宽。

### 6.11.5 数据交互需求

自适应航线跟踪的数据交互需求应满足表12要求。

表 12 自主航线跟踪数据交互需求

编号	数据	单位	频率	精度	数据来源
1	时刻	ms	-	1	船舶/岸基
2	船舶尺度	m	-	0.1	船舶
3	船舶坐标位置	m	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	<1	船舶/岸基
4	船舶航向角	deg	本船大于 1Hz	0.2	船舶

			他船大于 0.5Hz		
5	船舶速度	m/s	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	0.1	船舶
6	船舶纵向加速度	m/s <sup>2</sup>	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	0.5m	船舶
7	船舶首摇角速度（转速）	deg/s	本船大于 1Hz 他船大于 0.5Hz	0.2	船舶
8	船舶舵角	deg	10Hz	0.1	船舶
9	船舶螺旋桨转速	r/s	1Hz	1	船舶
10	船舶水面高度	m	10Hz	0.2m	船舶/岸基
11	应舵时间	s	-	<0.1s	船舶
12	船舶吃水	m	10Hz	0.2m	船舶/岸基
13	航道水深	m	10Hz	±1%测深 仪量程	船舶/岸基
14	航道尺度	m	10Hz	0.1	岸基
15	能见度	m	1 次/h	10	船舶/岸基
16	流向	deg	1 次/min	0.1	船舶/岸基
17	流速	m/s	1 次/min	0.1	船舶/岸基
18	风向	deg	3min 平均风 向，更新秒级	2	船舶/岸基
19	风速	m/s	3min 平均风 向，更新秒级	0.2	船舶/岸基

## 6.12 其他辅助驾驶功能

其他辅助驾驶的功能描述、主要场景、系统基本原理、通信方式、基础性能要求和数据交互需求参见或应符合《船岸协同内河智能船舶辅助驾驶场景与功能指南》的规定。

### 参考文献

- [1] 中国船级社. 智能船舶规范 2024 版.
- [2] 中国船级社. 钢质内河船舶建造规范.
- [3] 中国船级社. 船舶智能机舱检验指南.
- [4] 国际电信联盟. ITU-R M.1371-4 建议书
- [5] 法国船级社. Guidelines for Autonomous Shipping.
- [6] 俄罗斯船级社. Regulations for Classification of Maritime Autonomous and Remotely Controlled Surface Ships.