ICS 03.220.40;13.200
R 22

团　体　标　准

T/CIN004—2021

船舶智能航行交通安全风险评估指南 通则

Guideline for traffic safety risk assessment of intelligent navigation of ships: General rules

2021-12-30 发布　　2022-03-01 实施

中国航海学会 发布

全国团体标准信息平台

全国团体标准信息平台

目　　次

前言 II
引言 III
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 基本原则 2
4.1 客观 2
4.2 科学 2
4.3 全面 2
4.4 多方参与 2
5 评估时机、主体及内容 2
5.1 评估时机 2
5.2 评估主体 3
5.3 评估内容 3
6 评估程序 3
6.1 概述 3
6.2 评估准备 4
6.3 风险识别 5
6.4 风险分析 7
6.5 风险评价 7
附　录　A　（资料性附录）　推荐的船舶智能航行交通安全风险评估方法及其适用性 9
附　录　B　（资料性附录）　基于风险矩阵法和专家排序法的船舶智能航行交通安全风险评估 11
附　录　C　（资料性附录）　船舶智能航行交通安全风险类型基准 15

前　　言

本文件依据 GB/T 20001.7—2017《标准编写规则 第 7 部分:指南标准》和 T/CAS 1.1—2017《团体标准的结构和编写指南》的有关要求编写的有关要求编写。

本文件由中国航海学会提出并归口。

本文件起草单位：交通运输部水运科学研究院、交通运输部东海航海保障中心

本文件起草人：张宝晨、史世武、洛佳男、耿雄飞、汤可成、李亚斌、于巧婵、张鹭、文捷、李东升、周丹、周昱城、张明睿、李春旭、殷悦、姚治萱

本文件首次制定。

全国团体标准信息平台

引　言

促进航行安全是推动船舶智能航行技术发展的根本动因。相比于常规航行，船舶智能航行过程中综合应用了人工智能、视觉与感知计算、边缘计算、大数据、遥控与自动化控制、融合通信、定位与导航系统、时空地理信息等新一代先进技术，理论上可有效减少由人的因素导致的水上交通事故。但从宏观技术背景和航运发展历程来看，船舶智能航行技术尚处于初级阶段，仍需要通过大量的测试对所应用的理论和技术进行迭代优化，且适用于智能航行的国际航行准则、立法与标准化工作也需要经历漫长的过渡期。如何认知、评估和有效防控安全风险是当前船舶智能航行需要明确的基本问题之一。

船岸协同理念、少人和无人化趋向以及大规模新技术应用是船舶智能航行区别于常规航行安全风险评估的三大影响要素。传统的基于“人、机、管、环”四因素的安全风险评估模式已无法完全适应船舶智能航行安全风险评估，四因素在不同的智能航行模式和航行场景下具有了不同的表征方式。在当前尚无大量有效测试数据和智能航行风险事件案例的条件下，如何去有效预测和评估船舶智能航行风险是一个具有挑战性的世界课题。

本标准在充分考虑船舶智能航行的技术特点、航行模式和航行场景基础上，结合现有国际认可的船舶安全风险评估方法、MSC.1/Circ.1604《海上自主水面船舶试验临时导则》以及实船测试案例，提出了船舶智能航行安全风险的“人、机、管、环、信”五因素风险辨识、分析与评价的指导性规则。本标准不涉及船舶智能航行交通安全风险预测和防控。

全国团体标准信息平台

船舶智能航行交通安全风险评估指南 通则

1 范围

本文件规定了开展船舶智能航行交通安全风险评估的基本原则、评估时机、主体和内容及评估程序。

本文件适用于智能航行船舶的交通安全风险评估，也适用于具体风险管理办法的制定。船东、船舶管理公司、驾驶人员及海事监管部门可参考实施。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 11412.1—2009 海船安全开航技术要求

GB/T 23694—2013 风险管理 术语

T/CIN003—2021 船舶智能航行技术等级及技术水平评定

MSC.1/Circ.1604 海上自主水面船舶试验临时导则

MSC-MEPC.2/Circ.12 经修订的在 IMO 规则制定过程中使用综合安全评估（FSA）指南

3 术语和定义

T/CIN003—2021 和 GB/T 23694—2013 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

信技因素 information-technology element

船舶智能航行系统的技术水平及其鲁棒性，支持智能航行所需信息的准确完整性，以及通信传输的实时可靠性和网络信息的安全性。

3.2

应变机制 fallback

应变机制是由操控员或自动化系统执行的一项功能，在异常情况下，可以将船舶置于最低风险状态。

3.3

船舶遥控中心 remote control center

位于船舶以外并能够远程对船舶某些或所有过程进行监视和控制的站点、设备或系统。

3.4

最大响应时间 maximum response time

操作员在收到请求干预后到达控制位置并建立足够的态势感知以操作船舶的最长时间。

3.5

最低风险状态 minimum risk condition

应变机制中的一种预定义状态，当自主船舶系统出现异常情况时，通过降低航速和接管控制等方式将风险降到合理范围之内。

3.6

操纵风险 maneuver risk

由于智能航行系统/船舶遥控中心给出的错误指令或通信系统故障，可能导致船舶倾覆、碰撞、触碰、搁浅等后果的风险。

3.7

失控风险 out of control risk

由于网络传输自身故障和网络传输外部攻击等异常现象，造成智能航行系统失灵，可能导致船舶偏航、碰撞、触碰和搁浅等后果的风险。

4 基本原则

4.1 客观

船舶智能航行交通安全风险评估与人命、环境、财产安全密切相关，评估应根据人员、船机、管理、环境和信技因素的具体情况进行具体分析，建立与实际情况相符的风险管理体系。

4.2 科学

船舶智能航行交通安全风险评估是一种定性与定量相结合的科学计算过程，宜在不同阶段采用适用的评估方法和技术。

4.3 全面

船舶智能航行交通安全风险评估应在传统风险评估基础上，增加失控风险、操纵风险以及海盗等新型风险，在开展风险评估时宜对已识别的风险因素进行全面评估。

4.4 多方参与

船舶智能航行交通安全风险评估涉及多个利益攸关方和参与主体，在评估过程中应将各方意见进行系统归纳，融入风险评估的各个程序中。

5 评估时机、主体及内容

5.1 评估时机

船舶智能航行交通安全风险评估时机如下：

a) 开航前；
b) 定期：年度或季度；
c) 船方认为有必要时；
d) 船舶自身或外部条件发生变化时。

5.2 评估主体

实施船舶智能航行交通安全风险评估的人或单位应具备相应的经验、知识、技能等要求。宜根据风险评估时机，建立不同的评估主体，成立评估工作组。

评估工作组成员可包括验船师、智能航行系统专家、船舶专家、安全专家以及辅助员、记录员等。

5.3 评估内容

船舶智能航行交通安全风险宜从人的因素、船机因素、管理因素、环境因素和信技因素五个方面进行评估。

6 评估程序

6.1 概述

6.1.1 船舶智能航行交通安全风险评估的程序不限于但至少包括评估准备、风险识别、风险分析、风险评价四个环节，见图 1。

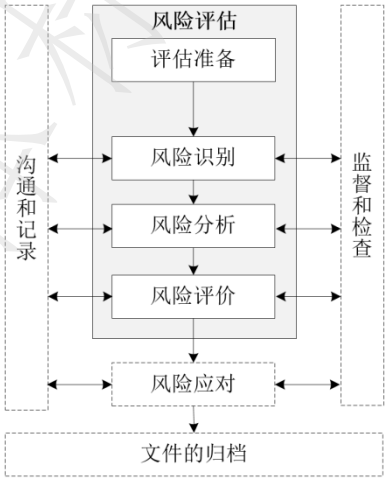

图1 船舶智能航行交通安全风险评估程序

6.1.2 开展风险评估前应明确船舶智能航行的环境信息，确定与组织相关的内部和外部参数，并设定风险管理的范围和有关风险准则。

6.1.3 风险识别应根据 6.3.2 条对船舶智能航行的潜在风险源、影响范围、事件及其原因和后果进行综合研判，生成船舶智能航行风险列表。

6.1.4 风险分析宜根据风险类型、获得的信息对识别出的风险进行定性和定量分析，为风险评价和风险控制提供支持。

6.1.5　风险评价将风险分析的结果与利益攸关方制定的风险准则进行比较，确定风险等级，以便做出风险应对的决策。

6.1.6　本文件提供了基于风险矩阵和专家排序法的安全风险评估步骤方法，参见附录 B。

6.2　评估准备

6.2.1　驾驶模式

智能航行船舶可根据航行条件在辅助驾驶、远程驾驶和自主驾驶等驾驶模式下切换，交通安全风险评估前宜提前规划不同航行场景下的驾驶模式。不同驾驶模式下宜建立相应的船舶智能航行应变机制。

6.2.2　重点航行场景

6.2.2.1　船舶智能航行交通安全风险评估宜将航行场景作为计算参数，并合理确定权重。

6.2.2.2　需要重点关注的航行场景主要包括：

——狭水道；
——港区；
——交通密集区；
——恶劣海况；
——冰区；
——通航建筑物；
——航海图书资料不完善区域；
——其他特殊条件。

6.2.3　风险准则

6.2.3.1　风险准则应体现利益攸关方的风险承受度，反映利益攸关方的价值观、目标和资源。

6.2.3.2　风险准则直接或间接反映了船舶智能航行法律和法规要求或其他需要遵循的要求。风险准则一般与评估主体的风险管理方针和体系一致。具体的风险准则宜在风险管理体系中制定，并持续改进。

6.2.3.3　确定船舶智能航行风险准则时要考虑以下因素：

——可能发生的交通事故严重程度与影响；
——风险发生的概率；
——风险的度量方法；
——多种风险组合的影响；
——利益攸关方可接受的风险或可容许的风险程度。

6.2.4　支撑数据

船舶智能航行交通安全风险评估的支撑数据宜包括人员信息、船舶及设备运行情况、水上交通环境、电子海图或电子航道图数据、风险管理体系、船岸交互可靠性、智能航行系统鲁棒性、信息通达性等风险因素以及历史事故数据。

6.2.5 技术方法的选取

6.2.5.1 根据船舶智能航行风险评估的信息和数据收集情况、工作组配置情况，可选用不同的评估工具和技术方法，一般应具备如下特征：

——适应船舶的实际情况；

——可追溯、可重复及可验证；

——对于支撑数据不足的特殊条件，可以通过风险概率模型和事故场景进行假定，也可以将特殊条件分解成多个有相应支撑数据的事件进行分析；

——结论和建议能够指导船舶风险防控工作。

6.2.5.2 风险评估报告应从相关性及适用性角度说明选择技术方法的原因。综合采用不同方法时，取得的结果可以比较。

6.2.5.3 在满足船舶智能航行安全风险评估目标和范围的前提下，宜采用简单、可操作性强的方法。

6.2.5.4 船舶智能航行风险评估技术方法及其在风险辨识、风险分析和风险评价各阶段的适用性见附录表 A.1。

6.3 风险识别

6.3.1 识别方法

船舶智能航行交通安全风险识别宜使用检查表法。检查表的制定可以选择支撑类方法当中最合适的方法。如有必要也可采用表 A.1 中给出的其他方法。

6.3.2 风险因素

6.3.2.1 概述

船舶智能航行交通安全风险因素宜从人的因素、船机因素、管理因素、环境因素和信技因素五个方面进行分析，并根据智能航行系统类型、技术等级及具体驾驶模式动态选定指标权重，可参照本标准附录 C 具体实施。

6.3.2.2 人的因素

人的因素风险分析可基于下述列表进一步分类和补充：

——精神：注意力、环境厌倦、记忆力、性格、反应迟缓或错误、警惕性等；

——身体：视力、听力、嗅觉、机能等；

——习惯：睡眠习惯、操船习惯、系统设备使用习惯、避让习惯等；

——技艺：遥控驾驶技术、情境意识、经验与知识、指令执行能力等；

——沟通：船长领导力、交接班、工作配合、语言沟通、人际关系等。

6.3.2.3 船机因素

船机因素宜作为船舶智能航行交通安全风险评估的重点。除常规的船舶状态、设备、货物等因素外，辅助驾驶、遥控驾驶、自主驾驶系统的技术水平指标应作为高权重风险源进行量化和评估。

船机因素风险分析可基于下述列表进一步分类和补充：

——船体状态：保养情况、吃水、净空高度等；

——货载状态：货物种类、货物数量、货物特性等；

——船舶设备与系统：动力系统、电力系统、航行系统、辅助系统等；

——船舶配员：定员人数、人员结构等。

6.3.2.4 管理因素

管理因素包括船舶管理公司内部风险管理体系，海事、港口、航道等层面的宏观交通安全治理方法、以及驾驶人员之间的协作约束。

管理因素可以基于下述列表进一步分类和补充：

——船舶管理公司：是否建立了适应智能航行船舶的安全管理体系，并有效运行和持续改进；

——治理：法制、监管、航海保障等。

6.3.2.5 环境因素

环境因素可以基于下述列表进一步分类和补充：

——船舶航行区域、范围、特点和限制条件；

——水文气象等自然条件；

——导助航设施；

——航行规则；

——交通复杂程度。

6.3.2.6 信技因素

信技因素可以基于下述列表进一步分类和补充：

——智能航行系统：技术水平、鲁棒性等；

——信息：准确性、完整性等。

——通信：网络覆盖、信道融合、延迟、带宽等；

——网络安全：抗干扰能力、反入侵能力、防篡改能力。

6.3.3 风险识别程序

船舶智能航行安全风险识别的一般程序如下：

a) 应根据评估时机建立与评估任务相适应的风险识别工作组，具体规则如下：
   1) 开航前和周期性评估应按安全管理体系规定确定；
   2) 开辟新航线评估应建立专门工作组。
b) 汇总和粗略分析风险及其相关原因和后果。
c) 如有必要，进一步深入识别风险的潜在原因、发展演变过程、影响因素和最终结果等。

6.3.4 风险识别结果

船舶智能航行交通安全风险的识别结果宜包括下述内容：

——风险原因；

——对风险产生的场景从起始事件到最终后果的说明；

——风险发生的频率和后果严重性的估计；

——风险排序。

6.3.5 后果分析

6.3.5.1 后果分析应确定风险的性质和类型。智能航行系统、在船驾驶员、船舶遥控中心操作员之间可能会发生连锁反应，后果分析应包括连锁反应及其系列影响。

6.3.5.2　后果分析的形式宜定性定量结合，必要时可采用仿真分析方法。

6.3.5.3　在缺乏充分案例支撑情况下，宜按照严重后果假设特定事件、情况和预设场景进行综合分析。

6.3.5.4　高概率的轻微后果、低概率的严重后果或中间状况，可根据具体情况制定针对性措施。

6.3.6　概率分析

6.3.6.1　船舶智能航行交通安全风险概率分析可采用定性的故障树和事件树等技术实施。

6.3.6.2　也可以采用专家法估计风险的可能性。专家判断主要基于常规航行风险，结合智能航行系统技术特点进行综合研判，常用的方法包括德尔菲法和层次分析法等。

6.3.6.3　在缺乏充分案例支撑情况下，可建立仿真程序来推断风险发生的可能性。

6.4　风险分析

6.4.1　主要过程

6.4.1.1　风险分析过程包括后果分析、概率分析、定性和定量分析、控制措施评估、风险等级估计。

6.4.1.2　船舶智能航行安全风险一般是一系列事件叠加产生的后果，或者由一些难以识别的特定事件所诱发。在这种情况下，风险分析的重点是明确不同风险因素的重要度和薄弱环节，检查并确定相应的防护和补救措施。

6.4.2　技术方法

6.4.2.1　用于风险分析的方法可以是定性的、半定量的、定量的或以上方法的组合，一般情况下不应仅采用一种方法。风险分析所需的详细程度取决于特定的用途、可获得的可靠数据，以及船舶安全管理的需求。

6.4.2.2　定性的风险分析可通过重要性等级来确定风险的后果、可能性和风险等级，如“高”、“中”、“低”3 个重要性程度。可以将后果和可能性两者结合起来，并对照定性的风险准则来评价风险等级的结果。应对使用的术语和概念进行清晰的说明，并记录所有风险准则的设定基础。

6.4.2.3　半定量法可利用数字评级量表来测度风险的后果和发生可能性，并运用公式将二者结合，从而确定风险等级。

6.4.2.4　定量分析可估计出风险后果及其发生可能性的实际数值，并产生风险等级的数值。由于相关信息不够全面、缺乏数据、人的因素影响等，或是没有必要或难以开展定量分析，可直接由具有专业知识和经验的船舶安全专家对风险进行半定量或者定性分析。

6.5　风险评价

6.5.1　评价准则

6.5.1.1　依据船舶智能航行交通安全风险的可容许程度，可以将风险划分为 3 个层次：

——风险不可接受。无论采取何种措施都无法保证航行安全；成本不可承受。
——风险可控。经采取措施可以保证航行安全，且成本可承受；
——风险可接受。风险概率小或后果可接受，无需采取应对措施。

6.5.1.2　利益攸关者应根据风险层次，以及评估准备阶段确定的风险准则合理制定风险应对措施。

6.5.2　技术方法

评价方法可参考本文件表 A.1 实施。

全国团体标准信息平台

附 录 A
（资料性附录）
推荐的船舶智能航行交通安全风险评估方法及其适用性

A.1 风险评估方法及其适用性见表 A.1

表 A.1 风险评估方法及其适用性

类型	具体技术方法	风险评估过程				
		风险识别	风险分析			风险评价
			后果	可能性	风险等级	
查询类	检查表法	非常适用	不适用	不适用	不适用	不适用
支撑类	头脑风暴法	非常适用	适用	适用	适用	适用
	机构化/半结构化访谈	非常适用	适用	适用	适用	适用
	德尔菲法	非常适用	适用	适用	适用	适用
	人因可靠性分析	非常适用	非常适用	非常适用	非常适用	适用
	问卷调查法	非常适用	适用	适用	适用	适用
	座谈讨论会法	非常适用	适用	适用	适用	适用
	专家打分法	非常适用	适用	适用	适用	适用
	集合意见法	非常适用	适用	适用	适用	适用
	风险暴露计分法	非常适用	适用	适用	适用	适用
	结构化假设分析	非常适用	适用	适用	适用	不适用
情景分析类	情景分析	非常适用	非常适用	适用	适用	适用
	根原因分析	不适用	非常适用	非常适用	非常适用	非常适用
	故障树分析	适用	不适用	非常适用	适用	适用
	事件树分析	适用	非常适用	适用	适用	不适用
	因果分析	适用	非常适用	非常适用	适用	适用
	决策树分析	不适用	非常适用	非常适用	适用	适用
	压力测试	非常适用	适用	适用	适用	适用
功能分析类	失效模式和效应分析	非常适用	非常适用	非常适用	非常适用	非常适用
	危险与可操作性分析	非常适用	非常适用	适用	适用	适用
	危害分析与关键控制点法	非常适用	非常适用	不适用	不适用	非常适用
控制评估类	蝶形图分析	不适用	适用	非常适用	非常适用	适用
	风险指数	适用	非常适用	非常适用	适用	非常适用
	保护层分析	适用	非常适用	适用	适用	不适用
定性评价类	风险综合评价法	非常适用	非常适用	非常适用	非常适用	非常适用
预警类	预先危险分析	非常适用	不适用	不适用	不适用	不适用
	神经网络	不适用	非常适用	适用	非常适用	不适用

表 A.1 风险评估方法及其适用性（续）

	蒙特卡洛模拟分析	不适用	不适用	不适用	不适用	非常适用
图形类	风险矩阵	非常适用	非常适用	非常适用	非常适用	适用
统计类	贝叶斯网络	不适用	非常适用	不适用	不适用	非常适用
	FN曲线	适用	非常适用	非常适用	适用	非常适用
	层次分析法	不适用	适用	适用	适用	非常适用
文本分析类	扎根理论	非常适用	不适用	不适用	不适用	不适用
技术方法	大数据分析	非常适用	非常适用	非常适用	非常适用	适用
	感知监测	非常适用	适用	适用	不适用	不适用

全国团体标准信息平台

附　录　B
（资料性附录）
基于风险矩阵法和专家排序法的船舶智能航行交通安全风险评估

B.1　概述

在风险识别后，需要根据风险频率和后果的严重程度对风险进行排序。对风险进行排序时，可以根据所识别出的风险类型，分别列出每种风险类别下的风险等级。

与常规航行不同，船舶智能航行风险评估增加了影响辅助驾驶、远程驾驶、自主驾驶的信息因素，同时随着技术等级的提高，船机因素和信息因素权重宜合理调增。

船舶智能航行在现阶段宜采用历史统计数据和专家判断法方法，根据标准附录 A 关于风险评估的适用性分析，可采用风险矩阵法和专家排序法对风险优先级进行排序。

B.2　风险矩阵法

B.2.1　建议采用对数形式来定义事故发生频率和严重性（后果）。

$$风险 = 频率 \times 后果$$

$$\log(风险) = \log(频率) + \log(后果)$$

$$风险指数（RI） = 频率指数（FI） + 严重度指数（SI）$$

B.2.2　将发生频率和严重程度分为几个等级，随后将频率和相应的后果置于一个矩阵中，该矩阵即为风险矩阵。一般当历史统计数据和相关信息足够时，可选用该方法。风险矩阵可分为三个区域：高风险区域，低风险区域，以及两者之间的临界区域，见下图所示：

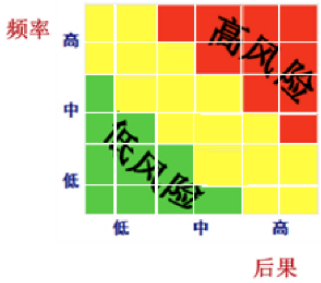

图 B.1　风险矩阵

B.2.3　下表举例说明了用对数表示的概率/频率指数的定义和取值（MSC-MEPC.2/Circ.12）。

表 B.1 概率/频率指数的定义和取值

FI	频率	定义	F（每船年）
7	频繁	1 艘船每月可能发生一次	10
5	相当可能发生	10 艘船的船队每年可能发生一次，即：在船舶的生命周期里可能发生几次	0.1
3	少见	1000 艘船的船队每年可能发生一次，即：在几艘类似船舶的总计生命周期里可能发生几次	10^{-3}
1	罕见	5000 艘船的船端的生命周期（20 年）里可能发生一次	10^{-5}

B.2.4 下表举例说明了以对数方式表示的海上事故的严重性指数的定义和取值。如果考虑到环境问题或客船，则需要进行额外或不同分类。

表 B.2 严重性指数的定义和取值

SI	严重程度	对人员安全的影响	对船舶的影响	S（等效死亡）
1	轻	单一或轻微伤害	局部设备损坏	0.01
2	重	多个或严重伤害	较大损坏，但不影响船舶航行	0.1
3	严重	单一死亡或多个严重伤害	较严重损坏，船舶尚可航行	1
4	灾难性	多个死亡	严重损坏和/或船舶无法正常航行	10

B.2.5 在实际应用中，有时也将严重性指数高的危险同时列入严重级别。下表给出了基于以上各表的风险矩阵。

表 B.3 风险指数的取值

FI	频率	严重性			
		1	2	3	4
		轻	重	严重	灾难性
7	频繁	8	9	10	11
6		7	8	9	10
5	相当可能发生	6	7	8	9
4		5	6	7	8
3	罕见	4	5	6	7
2		3	4	5	6
1	罕见	2	3	4	5

示例：某一事件被定为频率“低”（FI=3），严重程度为“重”（SI=2），则其风险指数应为 RI = FI + SI =5。

B.3 专家排序法

B.3.1 由一组专家分别对识别出来的一系列危险进行比较，每位专家都按照自己的判断，按照风险等级由高到低对危险进行排序。最后，针对每一个危险，将所有专家对其排出的名次求和，按照总数由小到大的顺序排列，即得到最终排序结果。一般在事故数据和相关信息不足时，可选用该方法。

B.3.2 专家依据各自的经验和理解对各种危险进行比较排序，有的习惯按事故场景对风险排序，有的按危险的频率或严重性排序。这是一种主观排序，每个专家均可制定一份事故场景排序单，将最严重者置于首位。专家对于问题的了解程度和其知识背景等因素的限制，必然导致在评估意见中产生分歧。因此，为增强所得结果的透明度，应当针对各个专家排序的结果进行一致性分析。所得排序应附有一个一致性系数，用以表明专家之间的共识程度。

B.3.3 假定指派若干专家（总计 J 位专家）用自然数（1、2、3…I）对若干事故场景（I 个场景）排序。专家“*j*”在排序时将场景“*i*”排为 x_{ij}。一致性系数“W”可按下式计算：

$$W = \frac{12\sum_{i=1}^{i=I}[\sum_{j=1}^{j=J} x_{ij} - \frac{1}{2}J(I+1)]^2}{J^2(I^3 - I)}$$

（公式 B.1）

B.3.4 系数 W 在 0 至 1 之间变动。W = 0 表示专家对于场景如何排序没有共识。W = 1 表示所有专家意见完全相符，均按给定属性对场景同样排序。共识程度的特征见下表所示：

表 B.4 一致性系数

范围	含义
>0.7	共识大
0.5-0.7	共识中等
<0.5	共识少

B.3.5 每一示例均有 6 个专家（J = 6）对 10 个场景（I = 10）排序。为表明一致性系数的作用，三组专家用的最终组合均为 x_{ij}，危险的重要性采用 1 至 10 的标度。

B.3.6 一致性系数意义的评估取决于参数 Z：

$$Z = \frac{1}{2} ln \frac{(J-1)W}{1-W}$$

（公式 B.2）

B.3.7 其 Fisher 分布的自由度为 $v_1 = I - 1 - \frac{2}{J}$ 和 $v_2 = (J-1)v_1$。如果 I>7，则可采用 Pearson 衡准 X^2，自由度为 v=I-1 的 X^2 分布的取值为 J(I–1)*W*。

B.3.8 基于附表 5 的计算得出 W = 0.909； X^2 = J (I – 1) W = 47.5；概率置信度 α= 0.999。

表 B.5 共识程度高的专家组

专家\危险	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	3	4	2	5	6	8	10	7	9
2	2	3	1	5	4	6	7	8	9	10
3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	2	1	4	3	6	5	7	8	10	9
5	2	3	1	4	5	6	8	10	9	7
6	1	2	4	3	5	7	6	8	9	10
$\sum x_{ij}$	9	14	17	21	30	43	43	52	53	55
*数字对于危险的初始排列										

B. 3. 9 基于附表 6 的计算得出 W = 0.413； $X^2 = 25.4$；概率置信度 α= 0.999。

表 B.6 共识程度中等的专家组

专家\危险	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	6	8	4	2	3	5	7	9	10
2	2	3	1	5	6	4	7	8	10	9
3	3	4	1	2	5	8	9	10	6	7
4	4	5	6	1	8	2	3	10	7	9
5	4	3	1	9	2	5	7	10	6	8
6	5	1	7	4	3	9	8	2	10	6
$\sum x_{ij}$	19	23	24	25	26	31	39	47	48	49

B. 3. 10 基于附表 7 的计算得出 W = 0.102； $X^2 = 5.4$；概率置信度 α= 0.20。

表 B.7 共识程度低的专家组

专家\危险	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	5	9	3	8	2	1	7	10	6	4
2	1	5	7	4	8	9	3	6	2	10
3	6	2	8	3	9	10	4	1	5	7
4	1	4	3	2	7	5	9	6	10	8
5	6	1	3	5	2	8	4	9	7	10
6	3	7	5	8	4	2	10	6	9	1
$\sum x_{ij}$	22	28	29	30	32	35	37	38	39	40

附　录　C
（资料性附录）
船舶智能航行交通安全风险类型基准

C.1　船舶智能航行风险类型及其风险因素

船舶智能航行交通安全风险随智能航行系统的无人化特征和场景变化呈现出显著的演化规律，下表提供了不同风险因素在不同技术等级下的重要性程度，以及不同船舶智能航行系统技术等级的风险评估要点。

表 C.1 船舶智能航行交通安全风险类型基准表

驾驶模式	风险因素					评估要点
	人的因素	船机因素	管理因素	环境因素	信技因素	
辅助驾驶	④	③	②	②	②	与常规航行风险评估基本一致，人的因素仍占主导，主要增加对辅助驾驶系统技术与岸基信息支持能力的评估
遥控驾驶	⑤	③	②	③	④	区分有人和无人在船，以及人的作用。 有人在船的遥控驾驶下人的因素进一步延伸到船和岸两类人员，且对岸基人员的技能要求全面高于传统船舶驾驶人员。但由于有人在船可以随时接管船舶，船机、管理和环境风险基本不变。 岸基指令、数据条件、通信保障、算法以及网络安全等信技要素作影响作用明显增强加大。
自主驾驶	②	⑤	③	④	⑤+	区分有人和无人在船，以及人的作用。 重点关注自主驾驶系统的可靠性以及网络安全等信技要素。

注：风险因素权重由低到高分为五级，分别由①、②、③、④、⑤标识，+代表强化。

参考文献

[1] 中国船级社. 智能船舶规范 2020.

[2] 中国船级社. 船舶综合安全评估应用指南

[3] GB/T 34033.1-2017 船舶与海上技术 船舶防污底系统风险评估 第 1 部分：船舶防污底系统用防污活性物质的海洋环境风险评估方法

[4] GB/T 34033.2-2017 船舶与海上技术 船舶防污底系统风险评估 第 2 部分：使用防污活性物质的船舶防污底系统的海洋环境风险评估方法

[5] GB/T 31722-2015 信息技术 安全技术 信息安全风险管理

[6] GB/T 31509-2015 信息安全技术 信息安全风险评估实施指南

[7] GB/T 19945-2005 水上安全监督常用术语

[8] JT/T 1275-2019 交通运输信息系统安全风险评估指南

[9] JT/T 1143-2017 水上溢油环境风险评估技术导则

[10] JT 2019-23 水运工程通用作业安全技术规程

[11] JT 2017-20-01 水运工程施工安全风险评估指南 第 1 部分：总体要求

[12] JT 2016-8 交通运输行业信息系统安全风险评估指南

ICS 号：03.220.40;13.200

中国标准文献分类号：R 22

关键词：船舶智能航行、风险评估、风险管理、交通安全