指导性文件
GUIDANCE NOTES
GD027-2026

中国船级社

船舶与海上设施数字系统验证指南

2026

2026 年 9 月 1 日生效

北　京

目　　录

第 1 章 通则.....1
第 1 节 一般规定.....1
第 2 节 系统可靠性.....3
第 3 节 系统完整性.....4
第 4 节 网络安全及数据安全.....6
第 5 节 数据质量.....6
第 2 章 数据标识.....9
第 1 节 一般规定.....9
第 2 节 系统要求.....9
第 3 节 验证要求.....11
第 3 章 数据基础设施.....12
第 1 节 一般规定.....12
第 2 节 数据基础设施架构.....12
第 3 节 数据采集.....14
第 4 节 数据存储.....15
第 5 节 数据传输.....15
第 6 节 通信安全要求.....16
第 7 节 验证要求.....17
第 4 章 数据集成.....19
第 1 节 一般规定.....19
第 2 节 系统要求.....20
第 3 节 验证要求.....22
第 5 章 模型.....23
第 1 节 一般规定.....23
第 2 节 模型度量.....23
第 3 节 模型验证.....26
第 6 章 数据应用.....28
第 1 节 一般规定.....28
第 2 节 监测.....29
第 3 节 诊断.....30
第 4 节 预测.....30
第 5 节 决策.....31
第 6 节 数据应用能力验证.....32
第 7 章 数据实施.....34
第 1 节 一般规定.....34
第 2 节 数字系统流程评估.....34
第 3 节 数字系统原理认可.....36
第 4 节 数字系统集成运营.....38
第 8 章 数字系统验证方法.....41

第 1 节 一般规定 41
第 2 节 风险评估 41
第 3 节 工程评估 42
第 4 节 直接评估 43
第 5 节 验证方法的检验 43
第 9 章 数字系统检验验证 46
第 1 节 一般规定 46
第 2 节 检验验证要求 47

第 1 章 通则

第 1 节 一般规定

1.1.1 适用范围

1.1.1.1 本指南的数字系统系指利用数据对特定物理实体和虚拟对象的数字化呈现，反映物理实体和虚拟对象的特定生命周期过程的系统。

1.1.1.2 本指南适用于船舶与海上设施(Offshore Installation) 及其附属设备数字系统及数据活动的检验验证。

1.1.1.3 数据的标识、采集、集成、模型与应用是船舶与海上设施及其附属设备数字化的核心要素，本指南将核心要素作为验证技术标准的符合性的最小单元，其中模型作为验证数字系统应用能力的基础。

1.1.1.4 本指南从数据标识、采集、集成、模型及应用等方面，对数字系统的技术标准符合性、功能完整性、模型可验证性、软硬件设施可靠性和网络及数据安全性等维度进行测试验证。

1.1.1.5 本指南的数据包括但不限于设备数据、结构数据、状态数据、运动数据、姿态数据、保养数据、生产数据和人员数据等。

1.1.2 一般要求

1.1.2.1 数字系统应对数据按本指南第 2 章要求进行标识，建议按照《船舶数据质量评估指南》第 2 章进行分类分级管理。

1.1.2.2 本指南中，属于中国船级社（以下简称“CCS”）《钢质海船入级规范》第 7 篇第 2 章定义的 II、III 类计算机系统的数字系统应满足 CCS《船舶网络安全指南》第 2 章 SL0 级网络安全要求；I 类计算机系统可参照执行；III 类计算机系统（如参与船舶远程控制、自主控制等功能的系统），建议采用 CCS 《船舶网络安全指南》第 2 章规定的 SL1 及以上级别的网络安全要求。

1.1.3 附加标志

1.1.3.1 根据申请，经 CCS 审图与检验，确认系统数据标识、数据基础设施 (Data Infrastructure) 和数据应用方面已符合本指南要求，可按下列方式授予附加标志。

DATA-ID(standards)，数据标识附加标志，应满足本指南第 2 章的要求；

DATA-INF，数据基础设施附加标志，应满足本指南第 3 章的要求；

DATA-APP (Monitor, Diagnose, Predict, Decision)，数据应用附加标志，应满足本指南第 6 章的要求。

1.1.4 申请与费用

1.1.4.1 申请 1.1.3 所述附加标志的船舶与海上设施，应向 CCS 提出书面申请，必要时

可签订评估服务合同和/或协议。具体要求参见《钢质海船入级规范》第 1 篇第 2 章第 4 节。

1.1.5 规范引用文件

相关文件中的条款通过本指南的引用将成为本指南的条款。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本指南。

1.1.5.1 CCS《钢质海船入级规范》及其修改通报。

1.1.5.2 CCS 《船舶网络安全指南》。

1.1.5.3 CCS《船舶数据质量评估指南》。

1.1.5.4 ISO 19848 Ships and marine technology Standard data for shipboard machinery and equipment.

1.1.6 术语

1.1.6.1 除另有规定外，本指南有关术语如下：

(1) 置信区间：某一置信水平下，验证结果与物理实体状态之间的合理误差范围；

(2) 置信度：在数字系统验证场景下，模型、数据或者验证结果能够准确反映物理实体真实状态的可信程度；

(3) 数据清洗：为保障船舶与海上设施数字系统验证的准确性，对采集的原始数据（含传感器数据、设备日志、环境监测数据等）进行异常值剔除、缺失值补全、冗余数据去重、格式标准化及数据一致性校验等处理，使数据满足模型训练、验证分析质量要求的过程；

(4) 数据驱动模型：基于数据特征自主学习，通过对数据集应用适当的训练算法构建生成的模型；

(5) 模型：在数字空间对物理实体进行抽象后的一种形式化表达方式；

(6) 海上设施：用于海上作业、运输或相关服务的各类固定或浮动建筑、装置及固定平台（不含码头、防波堤等港口设施）；

(7) 物理实体：船舶与海上设施相关的物理设备、硬件组件和集成系统；

(8) 专用接口协议：由特定厂商 / 项目组制定，适配专属场景 / 设备的定制化数据交换规则，仅支持特定范围内的互操作，不具备通用性；

(9) 标准接口协议：由权威标准化组织制定发布，规范不同系统或设备间数据交换的统一可复用规则（含格式、语义、时序等），核心是保障跨平台、跨厂商互操作性。如：OPC UA（IEC 62541）、NMEA 2000、MODBUS TCP、CANopen 等。

1.1.7 数据提供与保密

1.1.7.1 CCS 对申请方提交的数据和信息遵守《钢质海船入级规范》第 1 篇第 2 章第 12 节 2.12.2 的信息披露要求。

1.1.8 免责条款

1.1.8.1 数字技术正不断发展，本指南旨在适应和推动数字技术在船舶与海上实施的应用，但本指南内容不能取代具备资质的专业人士的对数字系统应用的分析和/或建议。用

户有责任自己进行评估并获得专业意见。

1.1.8.2 本指南所包含的部分信息可能会因法律、法规、标准、方法等的更新而失效，用户对合规性承担全部责任。

1.1.9 人员要求

1.1.9.1 船东或船舶管理公司应制定与数字系统相关的管理办法、培训计划、操作程序等，以明确数字系统相关操作和使用人员的职责、资质、培训等要求。

1.1.9.2 相关人员在上岗前应经培训合格，并熟悉数字系统的操作。

1.1.10 变更管理

1.1.10.1 经 CCS 检验验证的数字系统，当对数字系统相关的系统和设备进行变更或修理后，应根据具体情况进行检验，以确认其满足相关的技术要求。

第 2 节 系统可靠性

1.2.1 硬件可靠性

1.2.1.1 系统的硬件可靠性应考虑因素：

(1) 使用环境条件（如温度、湿度、振动和冲击、盐雾和腐蚀等）；

(2) 电压波动和电源干扰；

(3) 性能参数及允许极限；

(4) 冗余设计（如旁联等）；

(5) 共因故障，即由于某种共同的原因而导致系统的故障；

(6) 相关故障，即各单元的故障间往往是相关的，一个元件破坏，另一个元件承受破坏元件的后果。

1.2.2 软件可靠性

1.2.2.1 软件可靠性评估指标

(1) 成熟性，测量软件可靠性，主要考虑失效度、故障度、测试度及有效度等指标，其中：

① 失效度系指度量软件发生和解决失效的程度，主要包括失效密度、失效解决率等指数；

② 故障度系指度量发现和排除软件自身存在故障的程度，主要包括故障密度、潜在故障率、故障排除率等指标；

③ 测试度系指度量软件已被测试的程度，主要包括测试覆盖率、测试通过率等指标；

④ 有效度用于度量软件运行的有效程度，主要包括平均失效间隔时间、有效服务时间率、累计有效服务时间等指标。

(2) 容错性，主要涉及正常运行度和抵御误操作率等指标，其中：

① 正常运行度系指度量软件为保持正常运行所作努力的程度，主要包括避免宕机率、避免失效率等指标；

② 抵御误操作率系指度量软件为抵御误操作所作努力的程度。

(3) 易恢复性，主要包括重启成功度和修复成功度等指标，其中：

① 重启成功度系指度量宕机后软件可重新使用的程度，主要包括平均宕机时间、平均恢复时间等指标；

② 修复成功度系指度量异常发生后软件可修复的程度，主要包括易修复性、修复有效性等指标。

1.2.2.2 软件可靠性测试过程如图 1.2.2.2 所示。

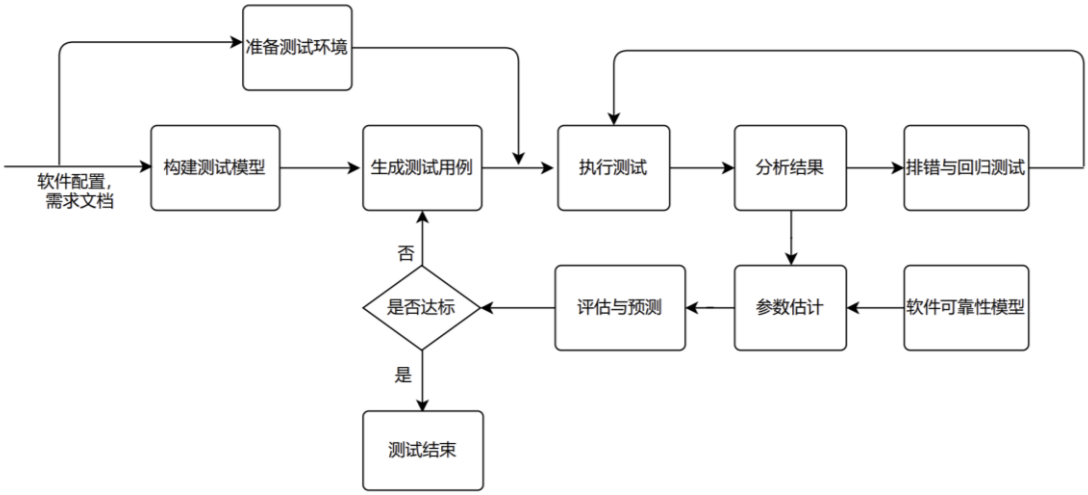


图 1.2.2.2 软件可靠性测试流程

1.2.2.3 船舶与海上设施数字系统的开发应满足 CCS《船用软件安全及可靠性评估指南》的要求。

1.2.3 网络连接可靠性

1.2.3.1 网络连接应满足 CCS《船舶网络安全指南》及相关指南的要求。

1.2.3.2 有线链路的连通性要考虑以下因素：

(1) 网络节点硬件可靠性；

(2) 网络拓扑的可达性；

(3) 网络的逻辑连通。

1.2.3.3 无线链路的连通性考虑以下因素：

(1) 节点设备可靠性；

(2) 无线链路因信号衰减而失效，信噪比应满足接收方要求；

(3) 因为多径传输的信道信号与干扰、噪声的比降到额定值以下，额定值即给定的共信道干扰型多路径衰减引起的误码率，或者接收信号功率低于接收方要求的最小值。

第 3 节 系统完整性

1.3.1 一般要求

1.3.1.1 系统完整性主要包括功能的完整性和系统研制程序的完整性。其中：

(1) 功能的完整性是指系统是否符合其预期用途；

(2) 程序的完整性是指产品供应商在系统的研制过程中是否具有成熟的管理能力。

1.3.2 系统要求

1.3.2.1 系统功能的完整性主要包括业务需求和系统性能需求。

(1) 功能完整性测试，包括功能完备性、功能正确性、功能适合性和功能符合性测试。

功能完整性测试内容　　表 1.3.2.1(1)

序号	测试项	测试内容
1	功能完备性	数字系统是否覆盖了指定的任务和用户目标，是否符合了产品说明书的全部需求。
2	功能正确性	数字系统是否提供具有所需精度相符的结果或效果的能力。 按照用户文档集中的所有陈述，数字系统的功能是否可执行。 由遵循用户文档集的最终用户对数字系统操作进行的控制与系统的行为是否一致。 数字系统数据处理的速度、精度是否符合设计要求。
3	功能适合性	数字系统是否具有为指定的任务和用户目标提供一组合适的功能的能力。
4	功能符合性	数字系统遵循与功能性相关的标准、约定或法规以及类似规定的程度。

(2) 性能效率测试，包括但不限于时间特性、资源利用性、容量、性能效率的符合性，见表 1.3.2.1(2)。

性能效率测试内容　　表 1.3.2.1 (2)

序号	测试项	测试内容
1	时间特性	数字系统执行其功能时，其响应时间、处理时间及吞吐率满足需求的程度。 信号采样周期及系统响应和数据处理时间是否符合设计要求。 紧急事件的中断响应及处理时间是否符合设计要求。
2	资源利用性	数字系统执行其功能时，所使用资源数量和类型满足需求的程度。
3	容量	数字系统参数的最大限量满足需求的程度。
4	性能效率的符合性	数字系统遵循与性能效率相关的标准 约定或法规以及类似规定的程度。

1.3.2.2 程序的完整性主要包括组织级和过程级两个维度，具体评估要求见表 1.3.2.2：

程序的完整性内容　　表 1.3.2.2

级别	组成部分	评估方面	关键评估要点
组织级(关注组织与环境)	组织完整性	组织管理与资源	① 组织在数字系统方面具备成熟的管理能力。 ② 团队拥有充足的资源、时间，并具备使用相关方法、工具和平台的能力。
	开发环境完整性	配置管理	是否对以下资产实施有效的版本控制和衔接： ① 文档管理 ② 需求管理

			③ 数据活动（如数据采集、集成） ④ 功能管理 ⑤ 模型及模型设计 ⑥ 测试及监控数据集
		开发迭代	① 开发过程满足预设要求和验收标准。 ② 系统能在预期运行环境中，在可接受的风险水平下满足需求。
		基础设施与编码	① 开发工具和系统满足预期商业目标。 ② 记录支持开发和运维的基础架构。 ③ 代码编写遵循既定的软件开发管理规范。 ④ 相关数据满足组织制定的数据管理制度。
过程级(关注开发流程)	开发、部署和运营流程	全生命周期阶段	评估以下六个核心阶段的流程是否完整、系统： ① 业务理解 ② 数据理解 ③ 数据准备 ④ 建模 ⑤ 评估 ⑥ 部署和运营

第 4 节 网络安全及数据安全

1.4.1 一般要求

1.4.1.1 数字系统的网络安全应满足 CCS《船舶网络安全指南》第 2 章要求。

1.4.1.2 数字系统的数据安全应满足 CCS《船舶网络安全指南》第 2 章和 CCS《船舶数据质量评估指南》附录 8 的相关要求。

1.4.1.3 数字系统的存储和传输应满足本指南第 3 章的有关要求。

1.4.1.4 用于连接数字系统与物理实体的网络应具备及时、准确、完整的传输能力，满足业务需求。

第 5 节 数据质量

1.5.1 一般要求

1.5.1.1 数据质量指在指定条件下使用时，数据的特性满足明确规范（如行业标准、CCS 要求）和隐含的要求（如用户使用预期）的程度。

1.5.1.2 一般地，可通过对数据质量采取计划、执行和控制活动（如 PDCA 循环、统计

过程控制等质量管理工具和/或技术）确保数据满足使用需求。

1.5.1.3 数据质量依赖于应用场景和数据使用者的要求。

1.5.2 数据质量要求

1.5.2.1 数据质量的要求包括两个方面：

(1) 数据质量特性：如准确性、完整性、一致性、时效性等，是数据质量的基础保障；
(2) 数据活动：数据全生命周期各活动的过程质量要求，通过数据质量的过程管控，确保数据在流转过程中质量。

1.5.2.2 数据质量特性的定义、要求和评估可参考 CCS《船舶数据质量评估指南》第 3 章要求。

1.5.2.3 不同的数据活动对数据质量的要求有所不同，相关数据活动包括但不限于表 1.5.2.3 所列内容：

数据活动对数据质量的要求　　表 1.5.2.3

数据处理环节	相关要求	质量特性	实施要求
数据标识	第 2 章	易识别性，可理解性、可跟踪性等	1. 数据标识规则需清晰易懂，便于人机识别； 2. 跨系统 / 平台传输船舶通用类数据（如位置、艏向、航速等）时，必须确保标识全局唯一。
数据采集	第 3 章	符合性、现实性、保密性、准确性等	1. 数据采集活动覆盖接收、解析和传输环节； 2. 数据采集活动对数据质量的要求随着应用场景的不同而不同。
数据存储	第 3 章	现时性、精度、可移植性、可恢复性等	1. 数据存储需满足产品技术规范、CCS《船舶数据质量评估指南》的检验要求； 2. 数据清洗环节重点提升数据准确性（剔除异常值）、符合性（标准化格式）、现时性（及时更新）及存储效率； 3. 应建立数据备份与恢复机制，确保数据可移植性和可恢复性。
数据集成	第 4 章	准确性、完备性、一致性、现实性等	1. 数据集成应满足实际应用场景需求，确保集成后数据无逻辑冲突、无缺失； 2. 如需要，应向 CCS 提供数据集成的说明文件。
数据应用	第 6、7 章	置信水平、采样频率、数据安全等	1. 数据置信水平需通过验证（如误差≤±2%）； 2. 采样频率需匹配应用需求（如关键设备监控≥10 次 / 分钟）； 3. 数据应用全过程需符合船舶数据安全规范，避免数据泄露或滥用。
数据验证	第 8、9 章	不可篡改、易读、易操作、可存储	1. 验证用数据应不可篡改（可通过加密、区块链技术等实现）； 2. 数据格式需标准化（确保可读、可操作）；

			3. 数据验证结果需符合 CCS 相关接受准则。

第 2 章 数据标识

第 1 节 一般规定

2.1.1 目的

2.1.1.1 数据标识是为了识别和区分不同的物理实体和虚拟对象，并保证相关数据在标签语义层面的一致性和互通性，对实体或对象本身及其属性数据进行标识。

2.1.1.2 标识编码是对标识对象赋予特定代码的过程。

2.1.2 标识对象

2.1.2.1 物理实体，包括但不限于船体结构、机械设备、电气设备、通信导航设备、货物、航道、环境、人员等。

2.1.2.2 虚拟对象，包括但不限于过程、类别、场景、状态、事件、服务、管理、功能、测量值、数据通道等。

2.1.3 附加标志

2.1.3.1 对于船舶与海上设施，如果其船体结构、机电设备和航行设备在数据标识方面建立了编码标准，并如满足本章相关要求，经相关方申请并通过 CCS 审图和检验合格，可授予数据标识附加标志：

DATA-ID(standards)

其中：

standards 表示采用的编码标准，包括 ISO 19848 等通用标准；以及根据本指南要求所制定的专有标准。

第 2 节 系统要求

2.2.1 数据标识原则

2.2.1.1 数据标识应遵循表 2.2.1.1 所列的相关原则。

数据标识原则 **表 2.2.1.1**

序号	基本原则	具体描述
1	原子性	能够识别标识对象的最小单位。
2	唯一性	标识编码与其对象是严格的一一对应关系。
3	科学合理性	应选定标识对象的稳定的本质属性或特征作为分类的基础和依据。
4	可扩充性	应能够接纳可能出现的新标识对象，而不改变原体系结构，同时具备一定的扩展容量。
5	可控性	应具有可控的、确定的管理方式。

6	开放性	应考虑到内、外部数据的互联互通。
7	兼容性	当涉及到不同编码标准时，应做到协调一致。
8	全面性	能够全面覆盖各类对象。
9	可操作性	考虑到快速识别、解析和信息获取的需求，以及人机读取、前期初始化、后期运维的需求。
10	规范性	在同一个编码标准中，代码的类型，代码的结构以及代码的编写格式应当统一。

2.2.2 数据标识编码方法

2.2.2.1 数据标识的编码方法应以预定的应用需求和编码对象的性质为基础，选择适当的代码结构，可以采用顺序码、缩写码、层次码或组合码：

(1) 顺序码：由阿拉伯数字或英文字母的先后顺序来标识编码对象的代码，可以按照时间先后、空间位置排列、名称字符顺序、流水号等序列进行编码；

(2) 缩写码：根据统一的方法缩写编码对象的名称，由取自编码对象名称中的一个或多个字符而生成的代码；

(3) 层次码：以编码对象集合中的层级分类为基础，将编码对象成为连续且递增的组（类），可以按照系统、设备、组件、零件等层次关系进行编码；

(4) 组合码：采用顺序码、缩写码和层次码中两者或三者组合的编码方法，如表2.2.2.1(4)所示。

组合码示例　　表 2.2.2.1(4)

标识编码	http://data.shipdatacenter.cn/imo1234567/ccs_cls/MainEngine/Cylinder1/ExhaustGas/Outlet/Temp
命名实体	data.shipdatacenter.cn
识别号	imo1234567
命名规则	ccs_cls
本地标识	MainEngine/Cylinder1/ExhaustGas/Outlet/Temp
说明	顺序码，如 imo1234567 缩写码，如 ccs_cls 层次码，如 MainEngine/Cylinder1/ExhaustGas/Outlet/Temp

2.2.3 数据标识编码标准

2.2.3.1 数据标识编码可采用专有标准和通用标准，具体如下：

(1) 专有标准：基于特定需求定制的标识编码体系结构，应满足第 2.2.1 条和 2.2.2 条要求；

(2) 通用标准：采取 ISO、IEC 标准或同等通用化水平的标准。

2.2.3.2 数据标识编码标准应至少包括应用范围、编码方法、编码结构（包括编码的构成和表示形式）和编码规则。

2.2.4 数据标识编码管理

2.2.4.1 每个被分配的标识代码应以适当方式进行注册，以确保未重复签发。

2.2.4.2 对于在介质间多次传输的标识代码，应通过格式检查或校验码来验证代码的完整性。

2.2.4.3 标识代码仅能由授权方或经 CCS 同意的相关方进行注册、变更和删除，同时应记录代码的注册、变更或删除的情况并及时更新代码表。

第 3 节 验证要求

2.3.1 一般要求

2.3.1.1 检查数据标识方案是否符合 2.2.1 的原则。

2.3.1.2 检查数字系统中的标识是否符合设计的数据标识方案。

2.3.2 文件资料

2.3.2.1 应提交文件资料：

(1) 数据标识方案：包括但不限于采用的编码标准、标识范围和编码的管理；
(2) 代码表：包括全部的标识编码对象集和代码元素集及其对应关系；
(3) 模型说明：明确模型的构建逻辑、核心要素、适用范围及约束条件。

第 3 章 数据基础设施

第 1 节 一般规定

3.1.1 适用范围

3.1.1.1 数据基础设施是指为进行数据处理，完成船舶的数字化、网络化、智能化功能而部署的硬件和软件，包含部署在岸基的监测平台、数据中心等。

3.1.1.2 数据基础设施的要求包括数据采集、数据存储和数据传输网络等要求。

3.1.1.3 数据采集指通过传感器采集、系统生成以及知识录入等方式，从船载设备/系统或岸基获取数据的过程。

(1) 传感器采集，包括通过温度传感器、压力传感器、摄像头、全球卫星导航系统、雷达等传感器设备获取船舶与海上设施各系统在运行过程中产生的数据；

(2) 系统生成，包括船舶与海上设施的其它系统在运行过程中采集和产生的业务数据，以及各种系统、程序和服务运行产生的运维和日志数据等；

(3) 知识录入，包括邮件订阅、专家知识录入数据、系统的推理数据，以及其它船舶与海上设施或系统的迁移数据等。

3.1.1.4 数据存储是指对采集的数据进行存储和处理（便于存储、调用的预处理，包括格式转化、加密等）的过程。

3.1.1.5 数据传输网络指连接不同数据传输组件之间的网络，包括数据采集、处理、存储、传输、展示等功能模块组件。

3.1.2 附加标志

3.1.2.1 对于船舶与海上设施，如果其船体结构、机电设备或航行设备在数据的采集、传输、存储过程中，建立了可实现船岸数据交换的数据基础设施，并满足本章相关要求，经相关方申请并通过 CCS 审图和检验合格，可授予数据基础设施附加标志：

DATA-INF

3.1.2.2 数据基础设施附加标志的授予、保持、暂停、取消和恢复应符合 CCS 相关要求。

第 2 节 数据基础设施架构

3.2.1 一般要求

3.2.1.1 数据基础设施架构应提供：

(1) 数据采集接口，包括传感器、船载系统/设备生成、知识录入等[1]的数据采集接口；

(2) 数据资源管理，为实现船舶相关系统、应用提供数据；

(3) 数据存储，对采集数据进行预处理并存储在本地或岸端；

(4) 数据传输网络，实现数据采集和应用之间的数据传输。

3.2.1.2 数据基础设施架构示意图如图 3.2.1.2 所示，数据可通过图中所示三种方式接入数据服务器：

(1) 直接通过网络传输至远程数据服务器；

(2) 直接传输至船载数据服务器；

(3) 通过路由器/交换机等中继设备传输至船载数据服务器。

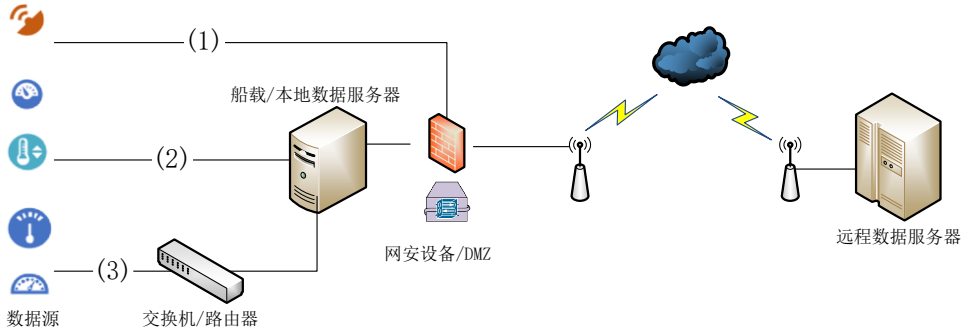


图 3.2.1.2 数据基础设施架构示例

3.2.1.3 数据基础设施应采用不间断电源供电。

3.2.1.4 数据基础设施的交换机/路由器、船载/本地或远程数据服务器、边界防火墙应满足《船舶网络安全指南》第二章 SL0 级网络安全相关要求。

3.2.2 功能要求

3.2.2.1 应能对数据源进行标识，并标注所有设施或系统的基本属性、位置、使用范围以及设备间的信息关联模型等。

3.2.2.2 参与边缘计算的数据源，应在计算端具备一定的数据存储能力，能满足必要的数据回溯要求。

3.2.2.3 数据基础设施应能满足数字系统数据量的使用需求。应具有足够数量和类型的输入和输出通道，以满足预定义的数据接口需求，并预留可配置、可扩展的输入输出通道。

3.2.2.4 应能识别多种通信协议，保证传感器、船载系统能通过预定义的数据接口与数据基础设施网络正常连通，并建立数据通信通道。

3.2.2.5 数据基础设施宜提供包括世界协调时间（Coordinated Universal Time, UTC）及时区在内的时间戳，并支持时间同步。

3.2.2.6 应对数据流进行监测，对中断和丢失进行告警，应能监测架构中的各模块或组件的可用状态，并记录故障诊断信息。

3.2.2.7 数据基础设施网络应采取安全防护措施，防止潜在故障、恶意代码等通过数据接口传播。

第 3 节 数据采集

3.3.1 一般要求

3.3.1.1 应能依据数据标识编码规则标记数据，并传输至船舶与海上设施数据服务器，数据应带有效性状态的标记。

3.3.1.2 数据采集应有数据质量控制方案，说明采集数据的范围，数据的时序性、准确性、完整性等要求（如 CCS 已有相关要求，应至少满足 CCS 相关要求）；方案需包含数据有效性与一致性检查机制，包括删除重复数据、纠正错误数据、补齐残缺数据等处理措施，其中一致性校验应至少覆盖以下情形：

(1) 空值；

(2) 数据长度；

(3) 数据类型；

(4) 残缺数据；

(5) 重复数据。

3.3.1.3 如对数据进行过滤和压缩处理，应当提供过滤规则和压缩算法说明以及压缩执行的节点位置说明。

3.3.1.4 数据采集的内部状态错误不应影响数据源的正常运行。

3.3.1.5 应按照数据质量控制方案，定期对数据开展数据质量评估。

3.3.2 数据接口协议

3.3.2.1 应明确数据采集采用的标准接口协议或专用接口协议。数据采集应优先选用行业标准接口协议，确需采用专用协议的应当至少从兼容性、安全性、行业适配性方面进行评估。

3.3.2.2 采取专用数据接口协议的输入/输出接口应能提供详细的文档说明，内容包含但不限于：

(1) 协议基础信息：协议架构、传输方式（TCP/UDP/ 串行）、端口配置（如适用）、数据帧格式；

(2) 技术参数：波特率（串行协议）、传输延迟要求、容错机制、数据校验规则（如 CRC 校验）；

(3) 接口规格：引脚定义（硬件接口）、输入 输出信号类型、数据量程与精度；

(4) 实操指南：设备接入流程、调试方法、常见故障排查方案；

(5) 兼容性说明：与其他系统、协议的互操作方式（如协议转换规则）。

3.3.2.3 导航与通信系统的数据接口协议应满足 IEC 61162 系列技术要求。

第 4 节 数据存储

3.4.1 一般要求

3.4.1.1 数据的存储应满足业务预期的数据处理及存储量需求，并支持扩展。

3.4.1.2 建议实现数据划分、拼接、索引等功能，优化数据的应用效率和存储效率。

3.4.1.3 应支持与数据基础设施网络进行时间同步。

3.4.1.4 应制定数据的备份计划，定期对备份进行恢复测试，确保备份数据具备正常恢复能力。

第 5 节 数据传输

3.5.1 一般要求

3.5.1.1 应能识别数据通信协议并管理数据通信。

3.5.1.2 数据传输应进行完整性校验。

3.5.1.3 应对数据传输网络进行监测，监测网络连接情况，监测和记录设备管理活动，当网络带宽利用率超过供应商设定的异常阈值时，产生告警。

3.5.1.4 应能监测并集中管理数据通信流量。

3.5.2 数据传输协议

3.5.2.1 采用标准数据传输协议的船载数据服务器与船载设备以及船载设备间的数据传输应满足如下要求：

(1) 现场总线传输宜遵循 IEC 61158、IEC 61784 的相关要求；

(2) 工业数据传输协议宜支持如 OPC UA/DA 等标准协议；

(3) 以太网传输应遵循如 TCP/IP 协议族等标准通信协议。

(4) 无线网传输宜选用 IEEE 802.11n/ac/ax（Wi-Fi 5/6）、LoRaWAN（低功耗广域网）等抗干扰能力强的无线协议。

3.5.2.2 采用专用数据传输协议的数据服务器与船载设备以及船载设备间的数据传输应提供协议的说明文档。

3.5.2.3 船舶与海上设施的导航与通信系统的数据传输协议应满足如下要求：

(1) 串口传输协议遵循 IEC 61162-1 和 IEC 61162-2；

(2) 网络传输协议遵循 IEC 61162-450。

3.5.2.4 通过以太网进行传输的数据应遵循相关标准协议并提供说明文档或配置文件。

3.5.3 数据交换格式

3.5.3.1 数据的类别、内容、结构等属性应采用国际通用的数据交换格式进行描述，包括但不限于：XML、JSON、CSV、YAML。

第 6 节 通信安全要求

3.6.1 通信安全

3.6.1.1 数据通信应满足业务需求和预期目标，尤其是数字系统与物理实体异地布置、跨网段布置时，应考虑传输速率、信号衰减、干扰等因素。

3.6.1.2 采集架构的通信包括有线通信和无线通信，其中无线通信包括本地无线通信和远程无线通信。

3.6.1.3 当涉及船岸通信时，宜支持双通道传输，数据在船岸间通信时，应对通信的数据或信道进行加密，保护数据的安全性。

3.6.1.4 应根据通信内容对安全的影响，采用相应强度的加密策略，同时考虑因加解密过程造成通信延时。

3.6.1.5 多设备协同工作的通信链路应具有时间同步机制，并满足如下要求：

(1) 宜至少支持一种时间同步协议来实现内部时间基准与各级时间同步设备或终端设备的时钟信息的同步，时钟误差范围要求为毫秒级时可采用网络时间协议（Network Time Protocol，NTP）/简单网络时间协议（Simple Network Time Protocol，SNTP）协议，误差范围要求在微秒级时可采用精确时间同步协议（Precision Time Synchronization Protocol，PTP）或 IRIG-B 时码；

(2) 当终端设备需要时，宜支持输出所需时间同步信号，包括脉冲信号、IRIG-B 时码等编码信号、串行口时间报文以及网络时间报文。

3.6.1.6 在传输较大数据量（如 AIS 数据、音视频数据等）时，可根据业务需求采用适当的编码技术进行压缩以节省带宽。

3.6.1.7 船舶与海上设施的设备之间以及设备与远程通信系统之间应能根据系统业务需求提供足够的带宽，以及传输速率。带宽应基于系统需求、缓冲区容量和数据恢复的要求设计。如果带宽是共享的，计算还应该将任何其他可能需要使用带宽的通信包含进去。带宽计算应根据实际设备或系统的添加或删除不断更新。

3.6.1.8 通信链路应提供通信管理和监控，包括以下内容：

(1) 通信应考虑优先级，基于通信内容对人身安全、船舶与海上设施安全、环境安全造成影响和紧急程度，通信安全分为 3 级，见表 3.6.1.8；

(2) 提供系统状态、警报和性能日志（TX/RX 数据速率和数据传输延迟）的应用程序接口（API）。

通信安全分级 **表 3.6.1.8**

级别	影响	典型数据
1	立即会对人身安全、船舶与海上设施安全、环境安全造成影响	紧急控制指令、远程控制指令
2	最终会对人身安全、船舶与海上设施安全、环境安全造成影响	船舶与海上设施状态感知数据、报警和监控信息等
3	不会对人身安全、船舶与海上设施安全、环境安全造成影响	信息监控数据、维修保养数据等

3.6.1.9 操控设备的通信链路应与其它链路分开。

3.6.1.10 对表 3.6.1.8 中级别 1 和 2 的数据的通信链路，从可靠性角度，可考虑冗余设计，应测试是否满足业务需求。

3.6.1.11 通信链路应具有恢复机制，在通信链路断开后，能重新建立通信链接，并识别已传输的数据和待传输数据。

3.6.1.12 对于船舶与海上设施的本地实时控制的通信链路、数据采集和监控系统数据的通信链路恢复时间应小于系统要求的时间。

3.6.1.13 数据的传输时延应满足应用场景需求，应测试并说明从数据源至信宿的数据传输时延。

3.6.1.14 船舶与海上设施的本地无线通信链路部署及技术规范应说明其遵循的标准。

3.6.1.15 船舶与海上设施的本地无线通信链路应：

(1) 通信安全等级为 1 的通信链路不应采用无线通信，除经 CCS 特殊考虑，考量因素参见 CCS《钢质海船入级规范》第 7 篇第 2 章第 6 节 2.6.6.2 相关内容；

(2) 根据业务场景需求、通信信号类型（开关量、模拟量等）、通信接口（RS485 等）等选择合适的无线通信标准；

(3) 根据采集节点位置和数量，选择合适的通信网络拓扑结构，并说明拓扑网络最大支持接入的现场设备数量；

(4) 评估和测试现场障碍物对通信链路的影响；

(5) 说明有障碍和无障碍情况下通信链路的传输距离、传输速率；

(6) 说明无线现场设备的刷新率，并考虑刷新率对支持设备数量的影响；

(7) 评估和测试室外现场风速和其他环境因素对通信链路的影响。

3.6.1.16 无线通信链路还应满足CCS《船舶网络安全指南》中关于无线网络的相关要求。

3.6.1.17 通信硬件设备除应满足 CCS《钢质海船入级规范》第 4 篇第 1 章第 2 节的要求外，还应考虑通信设备的安装和使用环境要求。

3.6.1.18 通信电缆等辅助电气设备应满足 CCS《钢质海船入级规范》第 4 篇第 3 章第 5 节的要求，还应满足导航与通信系统对电缆相关要求。

3.6.1.19 设备及电缆应具备必要的电磁兼容性和静电防护特性。

3.6.1.20 通信网络电缆应考虑信号干扰问题，如必要，应采用隔离通信，减弱或避免信号干扰。

第 7 节 验证要求

3.7.1 图纸资料

3.7.1.1 申请数据基础设施检验/验证/评估时，应向 CCS 提交表 3.7.1.1 所列资料。

图纸资料 **表 3.7.1.1**

文件名称	内容要求	CCS
系统拓扑图	描述源系统、中继组件、数据服务器以及数字系统的关联关系、接口说明、物理位置（如适用）等。	Ⓐ
系统说明	1.描述系统的组成、功能、性能及工作环境等，如可连接的最大设备数量、设备标识等； 2.电源供给说明； 3.控制点或监测点列表，标记所有数据输入和输出点； 4. 根据数据采集频率以及适用业务需求估算数据存储容量。	Ⓐ
数据格式说明	包括所有数据接口协议、传输协议、数据存储和转换格式，以及数据加解密说明。	Ⓘ
测试程序文件	产品或系统的功能和安全性的相关测试文件。	Ⓐ
数据备份、恢复策略	-	Ⓘ
变更管理	-	Ⓘ

符号说明：
Ⓐ：提交 CCS 批准；
Ⓘ：提交 CCS 备查。

3.7.2 验证测试

3.7.2.1 数据基础设施的验证和测试应包括但不限于：

(1) 应对照系统需求，验证数据采集数据的完整性；

(2) 根据批准的测试计划对功能和安全性进行测试，要求见本章第 1 节和第 2 节；

(3) 验证已连接的源系统以及数据基础设施是否能够按照既定协议接收和传输数据；

(4) 应提交的图纸资料及要求见 3.7.1.1。

3.7.2.2 数据存储验证

(1) 检查是否制定备份恢复演练计划以及是否按照计划执行了备份恢复演练作业；

(2) 检查数字系统的变更记录，必要时应检查数据缺失率与重要性评估的更新情况。

第 4 章 数据集成

第 1 节 一般规定

4.1.1 适用范围

4.1.1.1 本章规定了数字系统进行数据集成的技术要求，包括校准、共享、融合、分发等处理过程的技术要求。

4.1.2 一般要求

4.1.2.1 数据集成是在船舶与海上设施形成统一的数据共享与分析机制，为不同数据提供者、使用者提供统一的数据管理，促进数据的深度分析及广度应用。

4.1.2.2 数据集成分为两个层次，其中：

(1) 数据物理集成，实现了数据的集中存储和融合；

(2) 数据虚拟集成，数据分布式存储，利用虚拟视图等方式实现数据集成。

4.1.2.3 数据集成的基本功能包括数据校准、数据共享以及数据分发。除基本功能以外还可提供数据融合功能。

4.1.2.4 数据集成可以在数据采集、数据存储过程中进行集成，也可单独进行。

4.1.2.5 应定期对集成后的数据开展数据质量评估，以确认满足业务系统需求。

4.1.2.6 数据存储应满足本指南第 3.4 节数据存储章节的相关要求。

4.1.2.7 数据集成活动应确保数据的保密性、完整性和可用性。

第 2 节 系统要求

4.2.1 数据集成

4.2.1.1 数据集成过程可遵循如图 4.2.1.1 所示流程。

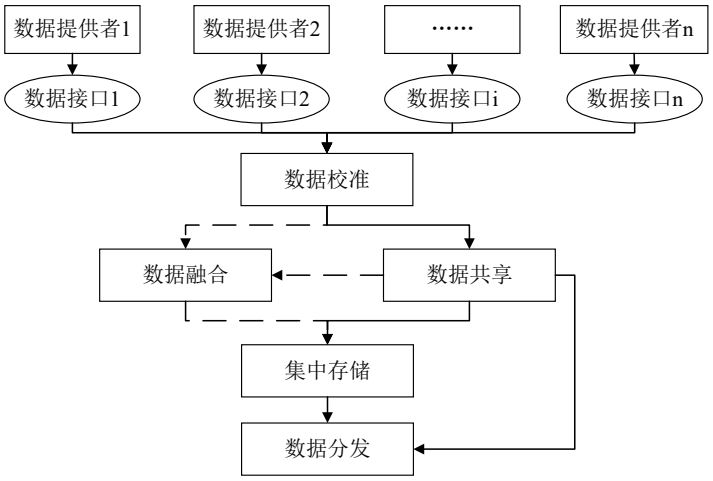


图 4.2.1.1 数据集成流程

4.2.1.2 数字系统应能对不同数据提供者提供数据接口，应具有数据接口的管理功能。服务器中管理数据接口列表，并能够通过数据输入和输出功能对列表应进行注册、修改、删除和引用。

4.2.2 数据校准

4.2.2.1 数据的处理与融合过程针对数据展开，在数据融合前系统应对数据质量进行判断，以确保融合结果可靠、确定与真实。

4.2.2.2 数据校准应满足如下要求：

(1) 数据提供者应对数据的可靠性、真实性、确定性、完备性、正确性与时效性负责；

(2) 应对不同数据提供者提供不同的数据接口，以完成从数据提供者向集中数据校准处理服务的传输，不同数据接口中应包含数据提供者、数据项、采集值以及度量单位；

(3) 数据集成过程应根据模型为不同数据项提供统一的度量单位，在数据处理前针对不同数据提供者提供的数据项进行度量单位转换；

(4) 应能够对不同来源的数据进行时间校准、空间校准，针对同一测量物获取相同时间、相同空间上的数据值；

① 为确保时间校准的有效性，校准数据服务器应提供时间服务，数据服务器系统时钟应与 UTC 同步，精度应至少能达到毫秒级。

② 当船端数据服务器 UTC 同步失败时，系统应及时报警，并记录同步失败时间。

(5) 数据集成过程可对多来源数据进行自动判断，记录质量存在问题的数据；

(6) 对于数据质量存在问题的数据及数据源，系统应通过重新采集、抛弃等方式避免其参与数据共享与融合，并记录问题数据的处理结果。

4.2.3 数据共享

4.2.3.1 数据共享的目标是为多个信宿提供访问，应具备如下功能：

(1) 应提供数据共享目录，目录应参考数据应用进行构建，用于提供信息资源指向功能，共享目录中的信息应包括数据集合的名称、其中包含的属性名称、属性是否非空、属性类型以及描述；

(2) 应配置有说明文档对数据来源、调用方式、存储方式、数据类型等内容进行阐述；

① 针对单一数据存储方式包括物理数据仓库、数据虚拟视图；

② 数据调用方式包括直接读取、数据接口等。

(3) 能够针对不同组织类型的数据源进行查询、更新操作，其组织类型包括但不限于结构化数据库、结构化数据、半结构化数据以及文件等；

(4) 系统应具备在线与离线两种模式的数据分发功能，并支持多线程处理。

4.2.3.2 数据共享输入输出的数据格式应满足本指南第 3 章第 5 节 3.5.3 的相关要求**错误! 未找到引用源。**。

4.2.4 数据融合要求

4.2.4.1 数据融合的目标是在数字系统上对被测量物体进行可靠、准确且完备的描述。通过数据融合对来自多个传感器的测量信息进行分析与加工，以获得被测量对象的数据描述。

4.2.4.2 在数据融合过程中应满足如下要求：

(1) 数据融合的输入为来自不同传感器的多源数据，能够使用一个或者多个不完美（如：性能指标偏差、完整性不足、信息维度不协调等）的数据源对数据进行完善；

(2) 数据融合算法应兼顾数据的完备性、正确性与时效性；

(3) 数据融合系统对于融合后的数据质量负责；

(4) 数据融合系统对融合后数据单独存储，并能够通过标识对融合前后的数据进行区分；

(5) 应根据当前网络状态、系统负载情况等对系统资源进行配置和管理；

(6) 系统应记录数据融合过程日志并保存 12 个月以上，日志内容包括但不限于融合算法名称、融合时间戳、数据源名称。

4.2.4.3 对于数据融合系统应提供质量验证报告，验证范围应涵盖系统涉及的全部数据类型（如数字、图像等类别），报告内容应包括：

(1) 数据融合目的；

(2) 数据融合算法原理描述；

(3) 数据融合系统应用范围；

(4) 不同类型数据的局部质量指标以及用于描述每个数据处理模块输出质量、输入信息及其质量之间的关系的质量传递函数；

(5) 不同类型数据的测试数据集合描述，包括测试数据集数据量、不同数据集的质量指标、输入数据及其质量描述、与输入对应的实际数据描述；

(6) 融合前后数据与实际数据对比分析；

(7) 融合实效性验证时应考虑融合后数据的应用情况，融合时间应满足应用系统时间要求。

4.2.4.4 数据融合系统可验证融合结果。

4.2.5 数据分发要求

4.2.5.1 数据分发服务用于数据的发现、提取与传输，数据分发服务的格式以及接口应在船舶与海上设施范围内统一，并予以发布，审核时应提供数据分发服务或接口列表，具体信息包括但不限于服务或接口 ID、名称、具体数据项名称、数据类型、长度、说明等。

4.2.5.2 在数据分发服务中应能够适应物理数据仓库、数据虚拟视图以及混合数据存储等模式要求。

第 3 节 验证要求

4.3.1 文件资料

4.3.1.1 数据安全策略，包括但不限于：

(1) 数据集成范围：明确可对数据进行修改的数据提供者，数据分发对象；

(2) 数据安全策略：制定恰当策略以保证数据的真实性、完整性和可靠性；

(3) 风险评估报告：数据丢失或者损毁的途径、后果以及应对措施。

4.3.1.2 数据共享描述，包括不同数据源与数据模型之间的关系。

4.3.1.3 数据接口列表其中应包括数据列表标识、名称、用途、对应的信息系统。

4.3.1.4 数据源列表，其中可包括标识、名称、类型等。

4.3.1.5 数据质量评估报告，具体内容见本章系统要求的数据融合要求部分。

4.3.1.6 文档至少应考虑如下内容：

(1) 数据清洗方案及数据评估报告完整且符合要求；

(2) 检查数据存储量估算情况，以及估算量与数据服务器实际存储是否匹配；

(3) 检查数据备份策略和恢复策略是否完整，是否按照备份程序、备份计划以及备份恢复演练计划执行相关作业；

(4) 检查对于数据安全策略、数据共享描述、数据接口以及传感器的描述是否完整。

4.3.2 验证测试

4.3.2.1 根据批准的测试大纲验证集成的过程，主要包括以下内容：

(1) 数据集成范围验证；

(2) 数据完整性验证；

(3) 数据校准验证；

(4) 数据融合验证；

(5) 数据共享验证；

(6) 数据分发验证。

第 5 章 模型

第 1 节 一般规定

5.1.1 一般要求

5.1.1.1 结合船舶与海上设施实施场景，本指南将模型分为以下两类：

(1) 监测类模型，客观反应船舶与海上设施相关系统、设备的运行情况；

(2) 推断类模型，基于以往运行数据经验，对船舶与海上设施系统、设备的未来运行情况进行预测分析、故障判定。

5.1.2 模型基准

5.1.2.1 模型验证应具备一个衡量基准，衡量基准可以是一个模型参数文件。

5.1.2.2 模型参数文件是指从原始的或处理过的参数或外部观察得出的数据项，提供一个系统、设备的正常运行的准则。模型参数文件可单独使用，也可与监控方法结合使用，以通过诊断方法或对未来性能下降和故障进展的预测来确定工况。

5.1.2.3 模型参数文件可通过以下方式获得：

(1) 传感器（参数）；

(2) 测量处理后的数据；

(3) 操作参数；

(4) 测试和检查结果。

5.1.2.4 模型或应用程序的性能应在一个基准（使用一个或多个模型参数文件，提供机器正常的系统行为的规则）性能的环境下检验验证。

第 2 节 模型度量

5.2.1 模型性能

5.2.1.1 监测类模型的性能可通过精度和正确度来刻画，精度和正确度用于描述测量值与真实值或基准测量值的接近程度。

(1) 精度等级应基于足以计算标准偏差的若干测试来确定。确定精度水平时，应考虑测试的可重复性；

(2) 正确度应通过与测量/计算值和实际值的平均值的偏差来记录。

5.2.1.2 推断类模型的性能可以通过 MSE、RMSE 和 MAE 等指标来刻画，其中：

(1) 均方误差（Mean Square Error, MSE）

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2$$

其中，n为样本数量

y_i为结果变量

$\hat{y}_i$为样本的结果变量的模型预测值

(2) 均方根误差（Root Mean Square Error, RMSE）

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}$$

其中，n为样本数量

y_i为结果变量

$\hat{y}_i$为样本的结果变量的模型预测值

(3) 平均绝对误差（Mean Absolute Error , MAE）

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|y_i - \hat{y}_i|$$

其中，n为样本数量

y_i为结果变量

$\hat{y}_i$为样本的结果变量的模型预测值

5.2.1.3 从模型分类的角度考虑，监测类模型的性能还可通过精确率、准确率、召回率、F1 值、P-R 曲线、接受者操作特征曲线（ROC 曲线）等指标来刻画，其中：

(1) 混淆矩阵

混淆矩阵是一张观测类和预测类的交叉表，见表 6.2.1.3。

二分类问题的混淆矩阵样例　　表 5.2.1.3

预测	观测	
	发生	不发生
发生	TP	FP
不发生	FN	TN

其中，假负（False Negatives，FN）：测试数据的真实值为正，分类器预测为负。

假正（False Positives，FP）：测试数据的真实值为负，分类器预测为正。

真负（True Negatives，TN）：测试数据的真实值为负，分类器预测为负。

真正（True Positives，TP）：测试数据的真实值为正，分类器预测为正。

(2) 精确率/查准率（Precision, P）

$$P = {(TP)}/{(TP + FP)}$$

其中，TP、FP、FN、TN 见表 5.2.1.3。

(3) 准确率/正确率（Accuracy, A）

$$A = {(TP + TN)}/{(TP + FP + TN + FN)}$$

其中，TP、FP、FN、TN 见表 5.2.1.3。

(4) 召回率/灵敏度/查全率（Recall, R）

$$R = {TP}/{(TP + FN)}$$

其中，TP、FP、FN、TN 见表 5.2.1.3。

(5) F1 值

$$\mathrm{F1} = {P \times R \times 2}/{(P + R)}$$

其中，P 为准确率/正确率，R 为 召回率/灵敏度/查全率。

(6) P-R 曲线

根据预测结果，按测试样本为“正例”的可能性（概率）由高到低进行排序，每次计算出当前的 P 值和 R 值，绘制得到 P-R 曲线。

当一个模型 A 的 P-R 曲线被另一个模型 B 的 P-R 曲线完全包住，则称 B 的性能优于 A。

当 A 和 B 的曲线模型发生交叉，则曲线下面积大的性能更优。

当曲线下面积难以估算时，根据平衡点（P=R 时的取值），平衡点的取值越高，性能越优。

(7) ROC 曲线

ROC 曲线以假正率（False Positive Rate, FPR）为横坐标，真正率（True Positive Rate, TPR）为纵坐标，绘制的曲线。其中，

$$FPR = \frac{FP}{TN + FP}$$

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN}$$

其中，TP、FP、FN、TN 见表 6.2.1.3。

TPR 越高，同时 FPR 越低，也就是 ROC 曲线越陡，模型的性能越好。

当一个模型 A 的 ROC 曲线被另一个模型 B 的 ROC 曲线完全包住，则称 B 的性能优于 A。

当 A 和 B 的曲线发生了交叉，则曲线下面积大的性能更优。

5.2.1.4 对于多个混淆矩阵的情况，可参考如下计算方法：

(1) 宏平均

先计算出每个混淆矩阵的 P 值和 R 值，然后计算平均 P 值和平均 R 值，再计算 F1 值。

$$\overline{P} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} P_i$$

$$\overline{R} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} R_i$$

其中，n为混淆矩阵数量

P_i为第 i 个混淆矩阵的 P 值

R_i为第 i 个混淆矩阵的 R 值

(2) 微平均

先计算出混淆矩阵的平均 TP、FP、TN、FN，然后计算 P 和 R 值，进而求出 F1 值。

$$\overline{P} = \frac{\overline{TP}}{\overline{TP} + \overline{FP}}$$

$$\overline{R} = \frac{\overline{TP}}{\overline{TP} + \overline{FN}}$$

5.2.2 模型置信度

5.2.2.1 置信度水平至少应通过对以下误差源进行加权评估来计算：

(1) 开发（模型开发过程中与选择相关的流程和风险的评估）；

(2) 性能评估和准确性；

(3) 使用的描述符的数据质量；

(4) 系统或模块的设计文档；

(5) 故障数据和特征。

5.2.2.2 置信度水平可以直接采用经验值，如 95%（±2 倍标准差）或 99.7%（±3 倍标

准差）或其他标准差倍数区间对应的置信水平。

5.2.2.3 对于置信度水平，可根据功能失效模式的风险进行比较和评估结果进行调整。

5.2.2.4 当将不同类型的模型组合为一个模型时，这被视为应用程序模型或混合模型。诊断模型也可以是主要模型或多个子模型的组合。应分解此类模型以充分计算置信度水平。

5.2.2.5 根据计算出的置信度水平，计算出置信区间。

5.2.2.6 用于诊断和/或预测的模型应有相关限制和适用操作条件的说明。

第 3 节 模型验证

5.3.1 监测类模型验证

5.3.1.1 模型能反映物理实体的运行状态。

5.3.1.2 模型数据应满足功能完整性要求。

5.3.1.3 应保证模型验证所使用数据的有效性。

5.3.1.4 应根据模型选取模型适用的验证指标。

5.3.1.5 模型使用的数据质量应评估合格。

5.3.1.6 应对模型的稳态及过渡态的工况进行验证。

5.3.1.7 基于模型的用途及功能，确定以下验证具体内容：

(1) 参数验证；
(2) 数据完整性验证；
(3) 模型指标验证；
(4) 数据质量评估；
(5) 数据存储周期验证。

5.3.2 推断类模型验证

5.3.2.1 推断数据是指数字系统基于历史运行数据或经验数据对系统的运行过程当前或未来的趋势计算得出的数据。

5.3.2.2 推断数据包括用于诊断、预测和决策的数据。

5.3.2.3 推断数据的得出必须基于数字系统启停在内的一个及以上的运行周期后得出。

5.3.2.4 应根据模型选取模型适用的验证指标。

5.3.2.5 推断数据的检验对象为产生推断数据的数字化系统及所包含的算法、基于的数据、产生的结论，除此之外，还应考虑以下方面：

(1) 数字系统完整性评估；
(2) 数字系统留存数据的数据质量评估；
(3) 数字系统诊断、预测所采用的模型。

5.3.2.6 应对模型的稳态及过渡态工况进行验证。

5.3.2.7 基于模型的用途及功能，确定以下验证具体内容：

(1) 验证模型的置信度；

(2) 基于本指南第 5.2.1.2 条至第 5.2.1.4 条所列指标验证模型。

5.3.3 模型结果验证

5.3.3.1 对比被验证对象的实际运行数据及模型数据，得到基于本指南第 5.2.1.2 条至第 5.2.1.4 条所选取指标（或与 CCS 协商选取更适用的指标）的对比结果。

5.3.3.2 满足 CCS 要求的模型置信水平。

第 6 章 数据应用

第 1 节 一般规定

6.1.1 一般要求

6.1.1.1 数据应用以数字系统为载体，数据应用系指数字系统为人、组织或系统提供业务所需的服务，数据应用的功能系指取决于数字系统所能达到的能力范围。

6.1.1.2 数字系统应用分为四个功能：监测、诊断、预测和决策。

6.1.2 附加标志

6.1.2.1 对于新造或营运船舶与海上设施，如满足本章相关要求，经申请，并经 CCS 审图和检验合格，可授予数据应用附加标志：

DATA-APP (Monitor, Diagnose, Predict, Decision)

其中：

Monitor：实现监测功能，满足本章第 2 节要求；

Diagnose：实现诊断功能，满足本章第 3 节要求；

Predict：实现预测功能，满足本章第 4 节要求；

Decision：实现决策功能，满足本章第 5 节要求。

6.1.2.2 在申请附加标志时，应至少满足本指南第 3 章的要求。

6.1.2.3 附加标志的授予、保持、暂停、取消和恢复应符合 CCS 相关要求。

6.1.3 系统要求

6.1.3.1 数字系统应满足其所适用的数据标识、数据活动的技术要求。

6.1.3.2 数字系统应根据其应用业务需求，满足所适用的国际公约规则、船旗国要求、IACS 要求、CCS 规范指南以及技术标准等要求。

6.1.3.3 数字系统可通过模型构建船舶与海上设施运行的设备及系统，构建的模型应具备可验证性。

6.1.3.4 数字系统可靠性、完整性、变更管理、网络安全、数据质量和数据安全应满足本指南第 1 章相关要求。

6.1.3.5 应根据业务需求按照《船舶数据质量评估指南》监测数据质量，当数据质量达不到设计要求时，系统应能够识别、记录和报告相关信息。

6.1.3.6 数字系统自身要能够保证服务的稳定性，当自身出现异常时能及时发现或者恢复。

6.1.3.7 数字系统应具备自检能力，并且能够输出自检报告，内容包括但不限于：

(1) 数据采集是否符合要求；

(2) 网络连接是否正常；
(3) 相关硬件是否处于正常工作状态；
(4) 数字系统各组件状态是否正常。

6.1.3.8 对于在数字系统运行过程中发现的不正常输出、错误结果、明显偏差、响应不及时等情况，运营方应及时记录并反馈至运维人员，并及时更正。

6.1.3.9 数字系统的数据基础设施应根据采用的具体方案满足本指南第 3 章相关要求。

6.1.3.10 数字系统的数据集成应根据采用的具体方案满足本指南第 4 章相关要求。

6.1.3.11 数字系统应人机交互友好，方便使用，建议满足 ISO 9241-210 相关要求。

6.1.3.12 数字系统应用能力的实现应基于风险和可靠性分析。

第 2 节 监测

6.2.1 一般要求

6.2.1.1 监测系指基于对物理实体完善的数字化描述和表达，通过自动和系统生成方式采集数据，实现真实状态的在线监测。

6.2.2 技术要求

6.2.2.1 数字系统监测能力应具备如下功能：
(1) 可以描述、展示监测对象的状态、统计信息；
(2) 对物理实体的关键节点实现监测；
(3) 描述系统的真实状态，并报告状态、事件和告警；
(4) 能够查询和提供关于当前和历史状态的信息。

6.2.2.2 数据监测范围
(1) 数字系统的监测范围和过程应满足业务需求；
(2) 其他方式输入的数据，应经过适当的方式进行确认。

6.2.2.3 数字系统的模型应满足监测类模型要求。

6.2.2.4 数字系统的数据存储能力应满足业务需求，可以采用周期存储或事件存储方式，具体如下：

(1) 周期存储，存储时长应满足船舶设计航程时间、船舶与海上设施检验周期以及算法需求（如适用）；

(2) 事件存储，当发生监测对象状态异常或者性能下降事件时，系统能够存储覆盖整个事件时间段的所有相关数据。

6.2.2.5 数字系统的监测性能应满足设计业务和场景需求，并通过适当方法保障系统性能水平。

第 3 节 诊断

6.3.1 一般要求

6.3.1.1 诊断系指根据状态监测所获得信息，结合已知的结构特性和参数以及环境条件，结合历史数据，对已发生的故障、失效或性能下降进行分析、判断，以确定性质、类别、程度、原因和部位。

6.3.1.2 如数字系统应用能力建立在监测能力的基础上，还应满足本指南第 6 章第 2 节相关要求。

6.3.2 技术要求

6.3.2.1 数字系统应能具备如下功能：

(1) 及时识别物理实体的故障、失效以及运行模式；
(2) 定位物理实体的故障/失效位置、范围；
(3) 判断故障、失效或性能下降的原因；
(4) 提供诊断信息，如健康或状态指标；
(5) 对经确认的故障/失效应能生成样本；
(6) 可支持用户进行故障查找和故障排除。

6.3.2.2 数字系统的诊断应用范围和过程应满足应用业务需求。

6.3.2.3 数字系统的模型应满足推断类模型要求。

6.3.2.4 应储存完整的诊断记录，建议具备一定的回放能力，记录内容包括但不限于基本信息、性质、类别、程度、原因、部位、现象、相关条件、发生时间、发生前状态是否有异常、采用的诊断方法和最终诊断结果。

6.3.2.5 数字系统的诊断性能应满足设计业务和场景需求，并通过适当方法保障系统的性能水平。

第 4 节 预测

6.4.1 一般要求

6.4.1.1 预测系指数字系统基于历史和实时的数据，根据客观发展趋势和变化规律，结合经验知识，预测对应物理实体未来的状态与趋势。

6.4.1.2 如数字系统应用能力建立在监测、诊断能力的基础上，还应满足本指南第 6 章第 2 节、第 3 节相关要求。

6.4.2 技术要求

6.4.2.1 数字系统预测能力应具备如下功能：

(1) 可以预测物理实体的未来状态、性能、趋势或失效时间；
(2) 通过历史数据能提升预测能力；

(3) 利用算法预测确定的结果；
(4) 当达到预警条件时能够发出预警信息（如适用）。

6.4.2.2 数字系统的预测应用范围和过程应满足应用业务需求。

6.4.2.3 当预测先决条件不满足要求时，应记录、识别和报告相关信息。

6.4.2.4 数字模型应满足推断类模型要求。

6.4.2.5 预测结果应稳定、可重复并满足置信水平。

6.4.2.6 应储存完整的预测记录，建议具备一定的回放能力，内容包括基本信息、预测条件或假设、预测使用数据、预测结果。

6.4.2.7 数字系统的预测性能应满足设计业务和场景需求，并通过适当方法保障系统的性能水平。

第 5 节 决策

6.5.1 一般要求

6.5.1.1 决策系指数字系统在物理实体或系统的数据化描述和表达基础上，结合诊断结果和未来的状态与趋势，为实现特定的目标提出可行方案，在比较、分析和评价后选择最佳方案，并对最佳方案付诸于实施和监控的过程。

6.5.1.2 如数字系统应用能力建立在监测、诊断、预测能力的基础上，还应满足本指南第 6 章第 2 节、第 3 节、第 4 节相关要求。

6.5.2 技术要求

6.5.2.1 数字系统决策能力应具备如下特征：
(1) 可以根据可用的预测结果提供指令性或建议性的行动方案；
(2) 评估每个可选择项的效果，以及如何在不影响其他优先事项的情况下优化未来的行动。

6.5.2.2 数字系统的决策应用范围、过程和结果应满足应用业务需求。

6.5.2.3 当决策先决条件不满足要求时，应记录、识别和报告相关信息。

6.5.2.4 数字模型应满足推断类模型要求。

6.5.2.5 决策结果应稳定、可重复并满足置信水平。

6.5.2.6 应储存完整的决策记录，建议具备一定的回放能力，内容包括基本信息、决策条件或假设、决策使用数据、决策选项、优化结果。

6.5.2.7 数字系统的决策性能应具满足设计业务和场景需求，并通过适当方法保障系统性能水平。

6.5.2.8 针对视情维护系统，推荐的维修方案应基于机械设备或部件的危险程度、运行

成本、维修成本、备件的可用性和其他因素。

6.5.2.9 数字系统的决策控制应满足下列要求:

(1) 数字系统应提供及时的、唯一的优化结果，否则应报告相关信息；

(2) 决策结果应转换成控制机构可执行的命令；

(3) 数字系统应监测执行结果并进行适当评估；

(4) 数字系统应具备人员介入能力。

第 6 节 数据应用能力验证

6.6.1 基本文件要求

6.6.1.1 数字系统应用能力验证，应提交下列文件资料：

(1) 数字系统规格书，包括但不限于如下内容：

① 业务范围、应用场景说明；

② 网络及通信安全的需求说明书；

③ 要求的数据质量的需求说明书；

④ 功能相关的说明；

⑤ 性能相关的说明；

⑥ 边界和限值等先决条件说明；

⑦ 接口说明，包括人机交互方面；

⑧ 交互协议及其他协议清单和说明文件。

(2) 数字模型相关说明材料及验证结果；

(3) 数字系统可靠性、完整性、变更管理、网络安全、数据质量和数据安全相关验证文件；

(4) 系统功能、性能测试程序：测试流程、测试方法、测试环境、测试工具、技术指标、试验大纲；

(5) 数据标识 2.3.2 所列资料；

(6) 数据基础设施 3.7.1 所列资料；

(7) 数据集成 4.3.1 所列资料。

6.6.2 监测能力验证补充文件要求

6.6.2.1 数字系统监测能力的验证，还应提交下列文件资料：

(1) 监测程序，包括监测方法/技术、监测方式（在线监测、离线监测和定期测量，定期测量应说明测量周期），基准测量程序、设备状态监测程序等；

(2) 监测装置的校准程序和计划。

6.6.3 诊断能力验证补充文件要求

6.6.3.1 数字系统诊断能力的验证，还应提交如下文件资料：

(1) 诊断、状态评估方法说明，包括原理描述、流程、机理、实例等；

(2) 特征提取、模式识别方法，如适用；

(3) 诊断说明，包括但不限于下列内容：

① 列出诊断对象可能损坏的部件；

② 列举与这些部件有关的故障、状态；
③ 对每一故障给出潜在的能观察到的症状；
④ 给将要使用的状态监测表征量命名；
⑤ 指出计算表征量所使用的方法和参数。

6.6.4 预测能力验证补充文件要求

6.6.4.1 数字系统预测能力的验证，还应提交如下文件资料：
(1) 预测方法说明，包括原理描述、流程、实例等；
(2) 预测功能所需的数据库说明。

6.6.5 决策能力验证补充文件要求

6.6.5.1 数字系统决策能力的验证，还应提交如下文件资料：
(1) 决策方法说明，包括原理描述、流程、实例等；
(2) 决策功能所需的数据库说明。

6.6.6 验证测试

6.6.6.1 申请数字应用能力等级评估的系统，应按照下列要求进行验证和测试：
(1) 数据标识按照 2.3.1 条要求进行验证测试；
(2) 数据基础设施按照 3.7.2 条要求进行验证测试；
(3) 数据集成按照 4.3.2 条要求进行验证测试；
(4) 数字模型验证要求要满足见表 6.6.6.1(4)；

数字模型验证要求 **表 6.6.6.1(4)**

应用能力等级	数字模型验证要求
监测	见本指南第 5.3.1 节要求
诊断	见本指南第 5.3.2 节要求
预测	见本指南第 5.3.2 节要求
决策	见本指南第 5.3.2 节要求

(5) 系统完整性中的功能完整性测试，见表 1.3.2.1(1)；
(6) 性能效率测试，见表 1.3.2.1(2)。

第 7 章 数据实施

第 1 节 一般规定

7.1.1 一般要求

7.1.1.1 数字系统应满足本指南数据标识、数据基础设施和集成章节的技术要求，并具备一定的数据应用能力，实现监测、诊断、预测和决策的之一或组合的功能。

7.1.2 适用范围

7.1.2.1 本章适用于数字系统安装在船舶与海上设施上的情景，也适用于安装在岸基数据中心的情景。

第 2 节 数字系统流程评估

7.2.1 一般要求

7.2.1.1 数字系统流程评估规定了评估数字系统的通用要求，以验证数字系统申请方具有开发、部署、监控和维护一个数字系统的能力。

7.2.1.2 数字系统流程主要包括以下三个方面评估：

(1) 数字系统开发流程评估；
(2) 数字系统交付流程评估；
(3) 数字系统应用的系统可靠性评估。

7.2.1.3 数字系统流程评估是申请数字系统型式认可的基础。

7.2.1.4 当数字系统的开发和交付的评估流程发生重要变更时，数字系统申请方应通知 CCS。对于数字系统的重大变更，CCS 可要求再次评估，以保持数字系统证书的有效性。

7.2.2 开发流程评估

7.2.2.1 数字系统的开发流程评估，需提交如下文件资料：

(1) 规格书；
(2) 流程控制相关文件；
(3) 技术资料。

7.2.2.2 规格书，包括但不限于如下内容：

(1) 从功能层面，对如下功能的设计和开发的算法的描述文档：
    ① 传感器；
    ② 数据采集/存储/集成；
    ③ 数据建模；
    ④ 故障检测（如适用）；

⑤ 诊断（如适用）；

⑥ 预测（如适用）；

⑦ 决策建议（如适用）。

(2) 报警限制条件。

7.2.2.3 流程控制相关文件，包括但不限于如下内容：

(1) 建立符合要求的资质和经验的主题专家队伍的流程；

(2) 人员培训和资质要求描述，如用户指导和培训手册；

(3) 质量管理系统说明；

(4) 系统版本控制流程；

(5) 系统更新策略，不限于更新方式、频率等；

(6) 检验数据管理，包括数据管理和数据质量管理，以及如何提交检验数据给 CCS（如适用）；

(7) 系统故障报告。

7.2.2.4 技术资料，包括但不限于如下内容：

(1) 风险评估技术/方法（如 FMEA/FMECA 等）；

(2) 数据表示和映射；

(3) 测试计划，包括测试目标、测试环境、测试方法等；

(4) 服务报告，包括数字系统运行场景；

(5) 系统架构设计文档；

(6) 接口规范说明。。

7.2.3 交付流程评估

7.2.3.1 数字系统的交付流程评估，需提交以下文件资料。

(1) 规格书；

(2) 流程控制相关文件；

(3) 技术资料。

7.2.3.2 规格书，包括但不限于如下内容：

(1) 数字系统系统描述，包括数字系统的目的和目标、系统框图、系统接口等内容；

(2) 数字系统需求说明书；

(3) 数字系统开发和交付中使用的质量管理系统的详细描述。

7.2.3.3 流程控制相关文件，包括但不限于如下内容：

(1) 建立符合要求的资质和经验的主题专家队伍的流程；

(2) 数字系统的数据使用策略，如何时以及如何传输数据；

(3) 数字系统更新相关的策略，如设备调整和服务中的改动；

(4) 数字系统软件升级和版本控制的策略。

7.2.3.4 技术资料，包括但不限于如下内容：

(1) 数字系统的实现的详细描述，如使用的是何种模型；

(2) 数字系统的诊断和预测算法的原理和/或依据；

(3) 对于诊断和预测的假正和假负结果事件的审查流程，包括错误的预测范围以及这数字系统服务周期内是如何维护这些事件的；

(4) 数字系统与物理系统的验证计划；

(5) 以前发布的服务报告的样例，以及服务报告和记录过程的样例。这些过程应充分体现数字系统的正确的操作是可以被验证的，以便在 CCS 定期检验时检查确认。

7.2.4 可靠性评估

7.2.4.1 本指南所涉及的数字系统的相关硬件和软件应满足 CCS《钢质海船入级规范》第 7 篇第 2 章第 6 节的要求，并经 CCS 审图和检验。

7.2.4.2 数字系统的软件开发应满足 CCS《船用软件安全及可靠性评估指南》的要求。

7.2.4.3 数字系统的数据质量应满足 CCS《船舶数据质量评估指南》第 3 章的要求。

7.2.4.4 除 7.2.4.1-7.2.4.3 相关要求涉及的提交资料外，数字系统软件可靠性评估还应提交如下资料：

(1) 规格书；

(2) 流程控制相关文件；

(3) 技术资料。

7.2.4.5 规格书，包括但不限于如下内容：

(1) 数字系统软件开发需求说明书；

(2) 数字系统网络安全的需求说明书；

(3) 数字系统要求的数据质量的需求说明书；

(4) 数字系统功能相关的说明；

(5) 数字系统性能相关的说明，包括但不限于如下内容：

① 完整性；

② 可用性；

③ 身份鉴别；

④ 保密性；

⑤ 可访问性；

⑥ 存储。

(6) 数字系统的边界和限值等先决条件说明。

7.2.4.6 流程控制相关文件，包括但不限于如下内容：

(1) 数字系统描述和用户手册；

(2) 测试计划和报告；

(3) 配置管理；

(4) 适合的开发流程和生命周期活动说明。

7.2.4.7 技术资料，包括但不限于如下内容：

(1) 数字系统与其实际运营环境中的使用要求的符合和/或一致性程度；

(2) 针对机器学习，人工智能或非确定性的软件技术的适用性评估。

第 3 节 数字系统原理认可

7.3.1 一般要求

7.3.1.1 数字系统原理认可对象是一个完整的待验证的设备或系统，设备或系统内的所有组成部分视为组件。

7.3.1.2 数字系统原理认可根据《钢质海船入级规范》第 1 篇第 3 章第 11 节要求进行实施，主要从开发交付流程、技术方案可行性、风险评估等角度开展检验。

7.3.1.3 申请数字系统原理认可需满足本指南第 7.2 节的流程评估要求。

7.3.2 文件资料

7.3.2.1 在申请数字系统原理认可时，需提交如下文件资料：

(1) 规格书；

(2) 流程控制相关文件；

(3) 技术资料。

7.3.2.2 规格书，包括但不限于如下内容：

(1) 数字系统的系统描述，包括数字系统的目的和目标、系统框图、系统接口等内容；

(2) 操作手册，包括哪些功能和/或信息是自动的，哪些是提供给用户的报警和/或建议，以及数字系统维护相关的需求或要求等；

(3) 数字系统的设计描述，包括传感器数据流向，使用的外部传感器数据及其采样频率要求，功能逻辑等详细描述，以及数字系统服务实现的逻辑描述；

(4) 如适用，从船端到开发和部署中心的传输描述，包括传输的方式、协议、频率、安全性要求等内容。

7.3.2.3 流程控制相关文件，包括但不限于如下内容：

(1) 当数字系统提供设备故障状态的相关报警时，应向 CCS 提供报警清单、报警级别定义、报警产生的逻辑、条件以及处理流程；

(2) 提供数字系统开发中使用的主题专家的经验。

7.3.2.4 技术资料，包括但不限于如下内容：

(1) 详细描述物理系统或资产中每一部件的持续服务原则，工况条件上下限的确定方式、与工况数据关联的逻辑功能定义，以及维护建议的制定依据；

(2) 针对可能的工况，数字系统的建议行动的详细描述；

(3) 针对使用数字系统监测、诊断和预测等应用的每一个组件的 FMEA（FMECA 或类似）分析；

(4) 针对 FMEA 分析的部件的每一种失效模式，提交如下信息：

① 数据采集和信号处理的技术列表，如滤波、信号放大（如适用）等；

② 能够以故障的出现和严重程度表示故障现象的特征列表；

③ 故障检测算法的列表；

④ 故障诊断算法的列表，包括处理、评估和分类故障的模型。

(5) 详细描述数字系统可监控的每一个组件的失效模式的分析算法；

(6) 数字系统申请方应提供数字系统诊断技术评估报告，报告中需清晰地描述不同的功能级别的故障是如何检测以及如何评估设备状态。报告还应包括设备可持续运营的接受原则；

(7) 详细描述数字系统开发使用的数据和处理过程，以确保使用了适合的质量和数量的数据；

(8) 对于数字系统的输出，应提供风险和置信度的详细描述；

(9) 描述如何实现/验证数字系统的风险和置信度；

(10) 确保数字系统经过充分的测试且具备鲁棒性，可作为船舶与海上设施或系统里特性对象或资产的数字化呈现，进行安装和部署；

(11) 数字系统在生命周期中保持输出在可接受范围的检验方法，比如检验和验证流程，内置测试系统，仿真等；

(12) 当数字系统提供决策建议时，比如对设备维修计划的修订建议，应提供样例说明辅助决策的流程、基础和相应的责任；

(13) 当数字系统的软件、逻辑功能、限值条件等发生重大变更时，应通知 CCS。通知内容包括改动的接受原则，比如机器学习算法使用的数据要求，以便 CCS 了解当前开发和服务中使用的接受原则；

(14) 数字系统的数据加载频率；

(15) 数字系统申请方提供服务中的数字系统的资产变动和改动的处理政策/流程。

第 4 节 数字系统集成运营

7.4.1 一般要求

7.4.1.1 数字系统集成运营是验证数字系统可在实际运行环境中部署并完成特定功能或任务。

7.4.1.2 数字系统的安装和部署要根据计划执行。

7.4.1.3 数字系统检验测试的内容依赖数字系统的成熟度、数字系统置信度（如有时）、数字系统失效带来的危害程度等因素。

7.4.1.4 当数字系统的使用经验有限，应保持正常的运维要求，直到足够的证据表明能够满足数字系统的业务需求。

7.4.1.5 船舶与海上设施数字系统应满足原理认可相关要求。

7.4.2 技术要求

7.4.2.1 审核所有假正结果和假负结果事件的记录，以及这些事件是如何应用于数字系统，如重新训练模型等。

7.4.2.2 CCS 将确认数字系统实行维护的情况，检查维护记录以确保数字系统的符合预期。检查所有的设备异常或故障记录，评估数字系统的决策服务的准确性，以判断数字系统是否具备可继续服务的能力。设备异常记录应包括数字系统的边界限制条件被超越的条件下的异常，以及采取了何种处理措施。

7.4.2.3 当数字系统由岸基数据中心实现时，还应检查数字系统的数据传输记录。

7.4.2.4 当发现数字系统决策建议的缺陷时，验船师可要求进一步审核。如果存在严重缺陷，可向 CCS 提交报告，撤销数字系统的认可证书。

7.4.3 文件资料

7.4.3.1 数字系统的集成运营验证，需提交如下文件资料：

(1) 规格书；

(2) 流程控制相关文件；

(3) 技术资料。

7.4.3.2 规格书，包括但不限于如下内容：

(1) 物理对象或实体的系统描述，包括功能和性能需求；

(2) 对数字系统的操作者的培训材料，包括使用手册、培训教材等。

7.4.3.3 流程控制相关文件，包括但不限于如下内容：

(1) 当数字系统的软件、逻辑功能、限值条件等发生重大变更时，应通知 CCS。通知内容包括改动的接受原则，比如机器学习算法使用的数据要求，以便 CCS 了解当前开发和服务中使用的接受原则；

(2) 对数字系统的操作者的最低培训要求和资质，以及针对数字系统输出的维护需求；

(3) 数字系统的诊断和预测的样例，用以展示数字系统是如何工作的；

(4) 如适用，对于数字系统未覆盖的设备维护相关信息的详细描述，如维护事项、周期等；

(5) 当数字系统提供决策建议时，比如对设备维修计划的修订建议，应提供样例说明辅助决策的流程、基础和相应的执行责任人。

7.4.3.4 技术资料，包括但不限于：

(1) 数字系统使用的所有传感器的详细描述；

(2) 数字系统预期功能的模型和数据；

(3) 如适用，对为数字系统提供数据的测量设备或传感器的校正方式和频率说明；

(4) 设备故障的记录要求，以及这些记录如何应用于数字系统；

(5) 数字系统的数据加载频率。

7.4.4 检验验证

7.4.4.1 对于数字系统集成运营阶段的检验，主要包括：

(1) 文件资料检验；

(2) 现场见证试验；

(3) 实船验证试验（如适用）。

7.4.4.2 文件资料检验不限于检查本指南第 7.4.3 条中要求的文件资料。

7.4.4.3 数据标识的验证要求见本指南第 2.3 节。

7.4.4.4 数据基础设施的验证要求见本指南第 3.4 节。

7.4.4.5 数据集成的验证要求见本指南第 4.3 节。

7.4.4.6 数字系统现场试验包括但不限于如下试验内容：

(1) 显示相关检验；

(2) 接口/协议检验；

(3) 功能检验；

(4) 性能检验；

(5) 数据敏感性检验；
(6) 模型检验；
(7) 失效模式检验；
(8) 网络安全测试验证；
(9) 数据质量评估。

7.4.4.7 对于数字系统未覆盖的设备维护相关信息的详细描述实船验证试验包括但不限于如下内容：

(1) 接口和协议验证；
(2) 数据接收和显示验证；
(3) 数字系统功能复合性验证；
(4) 实际系统的假正和假负事件的处理和记录；
(5) 数字系统的优化过程检验。

第 8 章 数字系统验证方法

第 1 节 一般规定

8.1.1 一般要求

8.1.1.1 验证方法包括风险评估、工程评估和直接评估，在检验与验证过程中应基于风险开展相关工作。

8.1.1.2 对具备自验证功能的数字系统的检验，应先对验证方法进行检验。

第 2 节 风险评估

8.2.1 风险评估目的

8.2.1.1 风险评估的目的是识别与数字系统相关的技术风险和不确定性，并记录所有可预见的危害、其原因、后果，以及考虑在应用和操作环境中的潜在风险控制措施。

8.2.2 风险评估要求

8.2.2.1 在实施前，风险评估计划应由 CCS 批准，并至少包括以下内容：

(1) 评估范围；

(2) 评估人员知识背景信息；

(3) 评估前准备：

① 相关信息收集；

② 风险评估方法确定；

③ 评估标准（风险矩阵等）。

8.2.2.2 在完成风险评估后应形成风险评估报告，至少包括以下内容：

(1) 评估范围；

(2) 风险评估假设和参考数据；

(3) 风险评估相关支撑文件或信息；

(4) 风险项识别、致因分析、风险后果，发生频率分析、风险等级以及是否需要采取措施降低风险等级；

(5) 风险管控措施及其有效性；

(6) 评估结论和建议。

8.2.2.3 对于基于单一数据驱动模型的数字系统的风险评估，可通过分析模型开发和部署流程来分析风险因素和/或风险项，评估流程至少包括以下内容：

(1) 根据待评估系统的系统描述和/或其他系统资料，确定待评估系统的功能列表；

(2) 风险矩阵，确定概率/可能性和后果的标准；

(3) 待评估系统确认的功能列表；

(4) 制定风险登记册；

(5) 针对风险登记册确定风险项；
(6) 对每一个风险项，估计其概率和后果，并计算出风险（风险=概率×后果）；
(7) 使用风险矩阵，对这些风险进行分级；
(8) 为高风险项制定风险缓解措施。

8.2.2.4 对于非单一数据驱动模型，数据驱动模型与基于物理和/或启发式或规则的模块结合在一起的。针对这类系统的风险评估，流程如下：
(1) 根据待评估系统的系统描述和/或其他系统资料，编制待评估系统的功能列表；
(2) 对每个数据驱动子模型，待评估系统确认功能列表；
(3) 根据列表的内容，填写风险登记册；
(4) 重复第(2)和第(3)步，直到所有的数据驱动子模型的风险登记册填写完毕；
(5) 识别数据驱动子模型组合后的风险，并填写风险登记册；
(6) 对风险登记册中的每个条目，确定一个或多个不良影响/风险项；
(7) 对每一个风险项，估计其概率和后果，并计算出风险（风险=概率×后果）；
(8) 使用风险矩阵，对这些风险进行分级；
(9) 识别不可接受的高风险项；
(10) 为高风险项制定风险缓解措施。

第 3 节 工程评估

8.3.1 工程评估目的

8.3.1.1 主要对数字系统实现预定义的功能和性能情况，以及安全性进行验证。

8.3.2 工程评估要求

8.3.2.1 工程设计审查：对数字系统定义的功能和性能进行验证，并对系统设计的合规性进行验证。

8.3.2.2 仿真和分析：对数字系统进行仿真分析。

8.3.2.3 验证测试：通过功能测试、模型测试和原型测试验证数字系统的功能和性能；测试应在设计需求环境下进行。

8.3.2.4 接口分析：对数字系统的接口进行分析，并在集成系统中进行测试，集成系统包括人和环境。

8.3.2.5 运行验证：基于数字系统的运行数据，验证其推断结果。

8.3.2.6 监控和维护保养验证：对数字系统是否可监控、检测和维护保养进行验证。

8.3.2.7 质量认证和控制程序：以行业标准建立和维护质量认证和控制程序，并确定各验证阶段的认可标准。

第 4 节 直接评估

8.4.1 直接评估目的

8.4.1.1 直接评估的目的是分析数字系统本身的行为。

8.4.2 直接评估要求

8.4.2.1 直接评估需要模型的训练和测试数据。可能出于商业和/或技术原因，无法访问模型和数据。

8.4.2.2 分析模型行为可采用白盒和黑盒方法。白盒方法需要分析模型内部参数，识别哪些参数最重要，哪些参数可以忽略。而黑盒方法是按照模型原样使用模型，并通过分析其行为来推断哪些参数是相关的。

8.4.2.3 在直接评估过程中，假设部署环境中的实际数据与在开发过程中的训练和测试数据应具有相同的统计属性。数字系统申请方应提供证据证明此假设。如果此假设失效，则在部署环境中的实际数据是异常样本。这种情况下，申请方更需提供证据证明应用程序的行为合理。

8.4.2.4 对于任何特定模型，针对应用程序将按预期运行而不会产生不良后果的保证和完整的风险画像所需的适当级别的可解释性，取决于应用程序的预期用途和重要性。可解释性包含两层意思：一层是模型（白盒）通俗易懂，有经验水平的用户都可以明白模型的含义；另一层是研究者对于黑盒模型的行为作出人们所能理解的解释。

8.4.2.5 对于应用程序的与数据质量和评估相关的预期行为，可使用数据质量指标（比如完整性）和评估指标（在已知的测试数据上，如均方误差，工作特征曲线下的面积（AUC）等）。数据质量指标和评估指标需根据应用程序的具体应用场景和建模方法而定，从而使相关部分的评估相对客观。

8.4.2.6 数据质量的计算应由运行时服务实现，该服务监控输入和输出到应用程序的数据质量。当输入/输出数据质量偏低，该运行时服务可以检测到偏差，并记录此自动检查，以表明当前模型的状态处于一个不可保证的状态，并以合适的方式通知使用者。

第 5 节 验证方法的检验

8.5.1 检验方式与方法

8.5.1.1 数字系统可通过收集系统数据并进行处理和分析，完成基于数据驱动的验证。

8.5.1.2 基于数据驱动的验证可通过数字系统内置程序或代理的验证系统完成，其中：

(1) 系统内置程序验证指验证方法作为数字系统功能的一部分实现的验证；

(2) 代理验证指代理应用或系统基于数字系统的数据建立数字表示（如模型），并按规范要求实现对数字系统的验证。

8.5.2 验证方法检验

8.5.2.1 基于数据驱动验证可由船员根据已批准的测试方法执行，或采用自动化方式实现。

8.5.2.2 基于数据驱动验证的范围应涵盖数字系统检验所需的项目，并提供不低于传统验证的可信性。

8.5.2.3 基于数据驱动验证的范围应基于风险评估进行管理。

8.5.2.4 基于数据驱动验证的硬件和软件系统应符合 CCS 相关要求。

8.5.2.5 基于数据驱动验证的过程不应影响数字系统的功能实现，且应优先保证数字系统的正常功能。

8.5.2.6 基于数据驱动的验证应提供相关的详细文件，使 CCS 对基于数据驱动的验证方法的硬件和软件功能、检验流程等有充分的认知，以便客观评估测试数据和结论，确保“黑盒”测试的可信性。

8.5.2.7 基于数据驱动验证的首次检验应基于以下步骤完成：

(1) 基于数字系统及所需文件对验证计划进行认可；

(2) 根据计划在数字系统中检验验证方法的有效性，包括验证标准和结论真实性，以及如下验证方法声明范围内的功能和性能：

① 验证数字系统功能和能力；

② 验证数字系统应对失效模式的能力；

③ 发现数字系统缺陷的能力；

④ 验证数字系统安全性。

8.5.2.8 基于数据驱动的验证应能在测试和验证期间采集、存储数字系统的数据并能传输至船舶与海上设施远程数据服务器，以确保数据的使用和检索需求。该功能不应依赖于任何临时或长期的通信连接。

8.5.2.9 应能根据需求将所有测试数据及结论提供给 CCS 作为检验的依据，提供的数据应保证其完整性和真实性，提供形式和内容应经 CCS 认可，并作为检验流程的一部分。

8.5.2.10 验证依据应以系统生成的数据为主，允许部分图片（包括截图）、视频作为验证依据。

8.5.2.11 当采用图片（包括截图）、视频作为验证依据时，应有相应的机制或程序保证其真实性。

8.5.2.12 基于数据驱动验证应至少能向 CCS 提供：

(1) 每次测试开始时数字系统及相关子系统的配置和状态；

(2) 测试的执行情况（是否按照流程正确执行）；

(3) 数字系统的系统响应和性能数据；

(4) 验证标准；

(5) 测试执行的人员情况。

8.5.2.13 应对数字系统的主要子系统或模块的软件版本和 OEM 服务报告（如有）进行验证。

8.5.2.14 基于数据驱动验证的范围、功能和修订应经 CCS 认可。

8.5.2.15 基于数据驱动的验证在每次测试均应能识别一组特定的数据集，作为评估和验证的标准。

8.5.2.16 基于数据驱动的验证系统或模块应明确显示数字系统各测试项目的测试和验证状态，如开始/未开始，到期/未到期，结束/未结束等。

8.5.2.17 基于数据驱动的验证系统或模块应有密码保护，并能识别操作人员的登录地址，对通过测试的数字系统应有数字化标记。

8.5.2.18 基于数据驱动的验证系统或模块应能提供专用的用户界面供验船师登录并完成验证相关工作，包括数字系统的状态概述，以及后续计划的测试和验证。

8.5.2.19 测试和验证的取消、未完成或失败均应记录，并解释其原因。

8.5.2.20 基于数据驱动的验证应提供测试流程的说明和指导，以及相关机制，确保测试和验证操作正确、结果无篡改和可重复。

8.5.2.21 基于数据驱动的验证系统或模块应能够在离线或在线（与远程数据服务器等连接）模式下运行。

8.5.2.22 生成的报告应标注是否需要 CCS 检验。

8.5.2.23 基于数据驱动的验证系统应支持 CCS 自定义生成报告，以显示验证结果以及数字系统测试项目的实际状态，并支持船东查询和记录。

8.5.2.24 基于数据驱动的验证系统应支持历史测试和验证结果以及处理方式的检索。

8.5.2.25 基于数据驱动的验证系统应提供版本变更管理。

8.5.2.26 基于数据驱动的验证应提供如表 8.5.2.26 所示资料。

文件资料 **表 8.5.2.26**

文件名称	描述
设计理论说明	描述基于数据驱动的验证方法，数据接口以及输出形式
功能描述	描述基于数据驱动的验证系统的功能和能力
监控系统文件	主要包括： 系统拓扑原理图 用户接口说明
操作手册	描述基于数据驱动的验证系统的操作步骤，配置方式等
测试报告	包括基于数据驱动的验证系统的功能、安全性等方面的测试报告
流程说明文件	主要包括： 1. 验证流程说明 2. 人员培训和资质认可要求 3. 测试和验证范围说明 4. 传感器和数据采集设备的校准流程 5. 测试和验证信息的管理和传输说明
版本变更管理说明	记录验证范围、功能和其他修订

第 9 章 数字系统检验验证

第 1 节 一般规定

9.1.1 一般要求

9.1.1.1 检验验证的对象为数字系统。

9.1.1.2 检验包括对数字系统的验证以及对验证方法的评价。

9.1.1.3 数字系统的验证涉及数字系统使用的传感器数据、状态数据以及结果数据的验证，应按要求提供相应的数据，以完成数字系统的验证。

9.1.1.4 数字系统申请方提交给 CCS 的相关验证数据，应采用自动采集的方式，且数据采集不依赖于测试人员的能力或介入，数据不可修改。

9.1.1.5 提交给 CCS 的数据（验证证据）的格式、范围和质量应满足 CCS 执行有效地针对性评估和对数字系统的验证。

9.1.2 检验流程

9.1.2.1 船舶与海上设施数字系统检验可采用图 9.1.2.1 所示的通用检验流程进行检验。

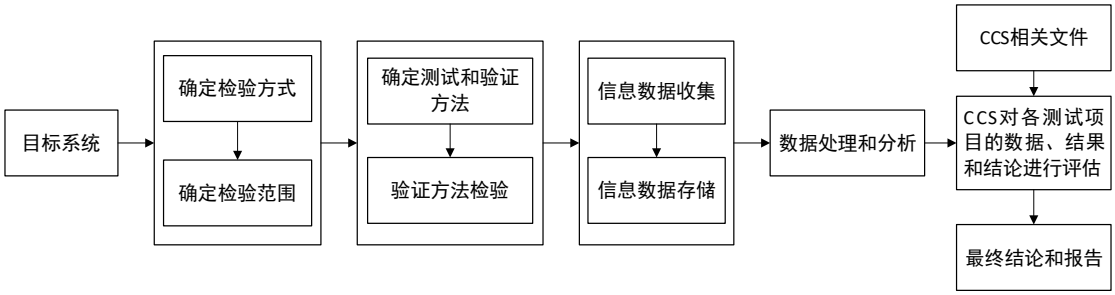


图 9.1.2.1 通用数字系统检验流程

9.1.2.2 对数字系统检验验证应基于工程评估、风险评估和直接评估。

9.1.2.3 图 9.1.2.1 中所示的验证方法检验应满足本指南第 8.5.2 节的要求。

9.1.2.4 船舶与海上设施数字系统检验的各流程应可追溯。

9.1.2.5 船舶与海上设施数字系统验证过程中收集的原始数据应能提供至 CCS。

9.1.2.6 对数字系统在实际运行环境中的兼容性进行验证。

9.1.2.7 对实际运行的数字系统功能和性能进行验证。

9.1.2.8 数字系统预期的功能和性能要求应提供量化指标。

9.1.2.9 应检验数字系统的基础假设是否符合实际，如实际运行环境温度等。

9.1.2.10 相关方应与 CCS 协商确定数字系统的监控、测试和检验具体项目清单。

9.1.2.11 应按照本指南第 8.4.2 节中直接评估的要求对数据驱动应用的数据或模型进行评估。

9.1.2.12 在验证过程，风险的定量和定性评估应根据实际情况（如信息的完整性，功能需求的变化等）进行。

9.1.2.13 风险评估应能识别数字系统的风险和不确定性问题，并记录可预见的危害、原因、后果以及潜在风险控制措施。

9.1.2.14 风险评估应主要考虑人身安全、资产保护以及环境保护三个方面的因素。

9.1.2.15 应按照本指南第 8.2.2 节的规定对系统集成和运行风险进行评估，并指定风险管控措施，主要评估内容应包括：

(1) 风险评估方法；

(2) 系统安装、集成接口、调试、运行以及关闭的风险，以及与其操作关联的系统的风险；

(3) 前期风险评估结果更新，以及风险管控措施分析。

9.1.2.16 对具有自验证能力数字系统的验证方法应经过 CCS 评价批准。

9.1.3 结果验证

9.1.3.1 数字系统运行结果应可验证，根据系统的运行情况，运行结果的验证可分两种方式提交至 CCS 进行验证：

(1) 系统经试运行后，将检验、模型及测试数据、预期结果提交 CCS 验证，结果符合 CCS 要求；

(2) 根据系统实际运行结果积累一定的数据进行验证，结果符合 CCS 要求。

第 2 节 检验验证要求

9.2.1 初次检验

9.2.1.1 确认数字系统应持有相应的产品证书。

9.2.1.2 在实施检验前完成试运行，申请方向 CCS 申请实施检验，提交试运行执行情况报告。

(1) 申请方无法提供数字系统运行结果验证相关资料如模型及测试数据、预期结果或实际运行等数据，CCS 基于本指南第 7 章第 4 节数字系统集成运营的开展检验验证；

(2) 申请方在数字系统运行的基础上可提供结果验证相关资料时，CCS 在本指南第 7 章第 4 节检验验证的基础上，根据本章第 1 节相关内容进行验证。

9.2.1.3 验船师应确认结果是否符合 CCS 的相关要求，并根据验证情况决定是否授予相应的附加标志。

9.2.2 建造后检验

9.2.2.1 数字系统实施后，应结合年度检验、中间检验和特别检验对数字系统所在船舶与海上设施进行验证，确保数字系统与物理系统的一致性。

9.2.2.2 在检验时，船东或船舶管理公司应向 CCS 执行检验单位提交年度使用报告，报告应至少包含：

(1) 数字系统运营维护记录；

(2) 数字系统提供的服务结果记录；

(3) 数字系统对应的物理实体的运营维护记录，包括所有组件异常和故障记录；

(4) 数字系统对应的物理实体的维修保养计划（如适用）。

9.2.2.3 在检验时，除审查船东或船舶管理公司提交的年度报告的同时，还应对下列项目进行检查：

(1) 对数字系统的功能完整性进行确认检查；

(2) 对数字系统的运行条件（如传感器输入条件、模型限制条件等）进行检查确认；

(3) 对数字系统的自检报告进行确认检查；

(4) 对数字系统对应的计算机系统进行检查确认，检查工作是否正常；

(5) 检查数字系统对应的物理实体的性能和维修保养记录（如适用）；

(6) 检查数字系统对应的物理实体的故障的详细记录（如适用）；

(7) 验船师应根据审核和检验结果，向总部反馈数字系统的应用情况。