

ICS 47.020.60
CCS U 62

T/CANSI

中国船舶工业行业协会团体标准

T/CANSI 70—2022

智能机舱系统设计总则

General rules for design of intelligent engine room system

2022-11-22 发布

2022-11-22 实施

中国船舶工业行业协会 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》给出的规定起草。

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。

本文件由中国船舶工业行业协会标准化分会归口。

本文件起草单位：中国船舶集团有限公司综合技术经济研究院、中国船舶集团有限公司第七研究院。

本文件主要起草人：李恒、王卉隼、刘伟、朱佳帅。

智能机舱系统设计总则

1 范围

本文件规定了船舶智能机舱系统的设计依据、设计准则、设计内容以及设计验证等。
本文件适用于船舶智能机舱系统的设计。

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 4205 人机界面标志标识的基本和安全规则 操作规则

IEEE 1451 用于传感器和执行器的智能传感器接口标准 (Standard for A Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators)

《船舶智能机舱检验指南 2022》 中国船级社

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

智能机舱系统 intelligent engine room system

能综合利用状态监测所获得的各种信息和数据，对机舱内设备与系统的运行状态、健康状况进行分析和评估，为设备与系统的使用、操作和控制、检修、管理等方面的决策提供支持的系统。

3.2

状态监测 condition monitoring

用于指示设备状态的信息和数据的获取、处理、显示过程。

3.3

健康评估 health assessment

根据状态监测数据对设备和系统的运行状态、健康状况进行分析和评估的过程。

3.4

辅助决策 decision support

基于设备与系统的状态监测与健康评估结果提出建议，为设备与系统的使用、操作与控制、检修、管理等方面的决策提供支持。

3.5

视情维护 condition based maintenance

根据设备与系统的状态监测与健康评估结果实施维护保养。

3.6

诊断 diagnostics

检查设备的症状，以确定故障或失效的性质（种类、状况、程度）。

4 设计依据

智能机舱系统的设计依据包括以下内容：

- a) 系统技术规格书；
- b) 相关标准、规范以及技术文件等。

5 设计原则

5.1 安全性

安全性设计应考虑系统本身以及与其有关的机械，不应与船上其余机械装置、船舶及人员安全造成危害，并且不应与船上其他安全装置冲突。

5.2 先进性和继承性

设计时应充分吸收国内外先进的成熟技术成果和经验，不应采用未经验证的技术方案，应追求可靠运行、技术先进性和继承性三者的统一；采用已有成功经验的通用软件、接口形式等，并应减少接口的变更。

5.3 可靠性

可靠性设计应体现耐用性、低故障，考虑系统的各种运行方式和工作状态。

5.4 维修性

维修性设计应通过优化保证设备内部的维修可达性，进行模块化设计，保证维修时的快速诊断和快速更换。

5.5 环境适应性

系统在下列条件下，能正常工作：

- a) 环境温度：0 °C～55 °C；
- b) 大气压力：100 kPa；

- c) 空气相对湿度： $\leq 95\%$ (有凝露)；
- d) 纵倾： $\pm 10^\circ$ ；
- e) 纵摇： $\pm 10^\circ$ ；
- f) 横倾： $\pm 15^\circ$ ；
- g) 横摇： $\pm 22.5^\circ$ ；
- h) 有盐雾、油雾、霉菌及正常营运所产生的振动和冲击。

6 设计内容

6.1 功能设计

智能机舱系统应通过设计实现以下基本功能：

- a) 对机舱内主推进装置、主要辅助系统运行进行监测；
- b) 基于状态监测，对设备与系统的运行状态、健康状况进行分析和评估；
- c) 根据分析与评估结果，为设备与系统的使用、操作和控制、检修、管理等方面的决策提供支持；
- d) 主推进装置应能由驾驶室控制站远程遥控，机器处所包括周期无人值班的机舱集控室；
- e) 无人值班周期内，机舱内的设备及系统应能连续正常运行。

6.2 系统设计

6.2.1 状态监测与健康评估

6.2.1.1 系统组成

状态监测与健康评估包括感知系统、数据系统、健康评估系统、外部系统、通信系统和交互系统。

6.2.1.2 基本功能

状态监测和健康评估基本功能应包括以下内容：

- a) 传感和数据获取；
- b) 数据处理和特征提取；
- c) 产生警告；
- d) 故障、失效诊断和状态评估；
- e) 预测未来健康趋势；
- f) 管理和控制数据流和测试时序；
- g) 数据存储和存取管理；
- h) 系统配置管理。

6.2.1.3 一般要求

6.2.1.3.1 状态监测系统

状态监测与健康评估所需的相关参数应选用合适的测量技术或方法进行收集，这些参数值应展示设备及系统一段时间内的状态变化趋势。

状态监测系统所使用的传感器一般应为固定型，也可考虑其他等效方式安装传感器。
状态监测系统可通过船舶报警系统收集数据，但不应影响船舶报警和安全系统的正常功能。

6.2.1.3.2 状态监测数据

测量数据应以标准的格式记录，以适合读取和使用。状态监测的主要参数可参考《智能船舶机舱检验指南 2022》附录 1。

状态监测数据应按规定的程序和计划进行存储，需要时可随时进行提取和显示。

状态监测系统应具有必要数据的备份功能。

应按合适的时间间隔及采样频率测量监测数据。监测参数的记录应至少包括以下信息：

- a) 描述设备与系统的基本信息；
- b) 被测定量的单位及处理方法；
- c) 日期和时间信息。

设备与系统的基准数据应在初始健康状态条件下（磨合期之后）测量或通过其他方式获得，测量时的参考条件应以文件形式予以记录。

6.2.1.3.3 监测数据分析

基于监测数据进行的趋势数据预测应能清晰展示状态变化，分析与评估结果应能以直观的方式说明。

6.2.1.4 详细要求

6.2.1.4.1 感知系统

感知系统应能检测多个参变量，并且能够通过统计分析、组成成分分析、滤波等信息融合技术以减少噪声和干扰。

传感器组件应能在实际动态范围内变化的被测参数或变量做出及时响应。

动态特性测量系统应为无失真，系统应具有较高的频带宽度，且易于操作。

无线传感器通信网络应完成信息的传输，并达到预定的信息传输量和服务质量。

智能传感器应易于安装，并具备自识别、自诊断、时间一致性等功能以及数字信号处理（DSP）功能。

感知系统的输入来源可为传感器、变送器或人为输入，输出信息应包括数字化数据、时序数据/时间基准数据、数据质量指标。

6.2.1.4.2 数据系统

数据系统包括数据采集模块、数据处理模块和状态监测模块。

数据采集模块应能收集模拟量、数字量和人工数据，并将模拟量转换成数字量。

测量位置应选择在最可能检测出故障的位置。应考虑的因素有：

- a) 安全性；
- b) 传感器选择；
- c) 信号调理；
- d) 对故障状态变化的高灵敏性；

- e) 降低对其他影响的灵敏性；
- f) 测量的可重复性；
- g) 信号的衰减或损失；
- h) 可接近性；
- i) 环境。

数据系统应能适应多种通信方式对模拟量/开关量等信号的采集和处理。

状态监测系统应能将数据采集模块或数据处理模块输出值与期望值或操作限值相比较，以便产生具有各自的界限超过数的枚举状态指标。

状态监测系统输出的指标数据可为机械健康评价作参考，产生警报和警告。

采集模块应能对硬件本身进行功能自检，并能发出功能和故障或错误报警。

数据系统的输出应主要包括枚举状态指标、阈值界限、向上/向下偏离阈值界限的严重程度、改变警报的等级、异常程度、统计分析等。

6.2.1.4.3 健康评估系统

健康评估系统包括诊断模块和预测模块。

健康评估系统应实现计算机自动诊断并预测当前和潜在的故障/失效状态。

诊断模块应实现故障/失效检测、辨识、定位、早期隔离，诊断信息应至少包含以下内容：

- a) 可能发生故障/失效的机械及其部件，以及故障模式/失效形式；
- b) 故障/失效潜在的能观察到的症状；
- c) 相关的状态监测参数；
- d) 诊断方法、依据和解释。

预测模块应对机械故障模式的未来状态与趋势进行预测。预测信息应至少包含以下内容：

- a) 在预测过程中，被监测机械的运行工况、监测参数等；
- b) 预测结论，包括所有已识别的失效模式；
- c) 置信度、有效条件和风险分析；
- d) 为提高置信度而需要的附加试验和验证工作；
- e) 预测方法、依据和解释。

输入主要包括数据系统的输出数据以及历史数据、其他健康评估系统的输出数据、专家知识、维修记录、控制命令、相关配置参数等。

6.2.1.4.4 外部系统

系统应设置足够容量的服务器或数据库，实现数据的存储、备份与管理，应能保存至少一个检验周期的数据，一般不少于5年。

历史运行数据应随时被健康评估等其他功能模块检索调用。

6.2.1.4.5 通信系统

智能传感器的通信应满足 IEEE 1451 的要求。

通信系统应确保数字传输的有效性、可靠性、安全性和维修性。

6.2.1.4.6 交互系统

人机界面设计应符合 GB/T 4205 的规定。输出的数据和信息应至少包括以下内容：

- a) 标识码或编号；
- b) 显示被检测机械的具体状态信息与趋势性数据；
- c) 显示被检测机械当前或潜在的故障或失效的诊断结论，以及失效预测信息。

应具有趋势和异常区域数据显示功能，为分析人员提供需要识别和确认异常状态的数据。

对于不同需求的操作人员，应设定不同的权限，防止未经授权的访问。

6.2.2 辅助决策

6.2.2.1 系统组成

辅助决策可作为视情维护的组成部分，也可与机械状态监测与健康评估结合形成独立的系统。

辅助决策按照执行决策支持的主体不同，可分为计算机辅助决策和人工辅助决策。

6.2.2.2 基本功能

辅助决策的基本功能应包括以下内容：

- a) 辅助决策应能基于监测数据对机舱内设备与系统的运行状态和健康状态进行分析与评估，并结合系统已建立的知识库提出合理建议，为设备和系统的操作、管理提供决策依据；
- b) 用于辅助决策的知识库应能随着系统运行经验的积累、知识的更新，进行不断地更新和完善；
- c) 辅助决策应能输出设备与系统运行状态和健康状况的评估报告及决策建议；
- d) 设备与系统运行状态和健康状况的历史数据应能方便地查询，并能输出检验需要的相关记录；
- e) 辅助决策应能基于监测数据对机舱内设备与系统的运行状态和健康状态进行分析与评估，并结合系统已建立的知识库提出合理建议，为设备和系统的操作、管理提供决策依据；
- f) 用于辅助决策的知识库应能随着系统运行经验的积累、知识的更新，进行不断地更新和完善；
- g) 辅助决策应能输出设备与系统运行状态和健康状况的评估报告及决策建议。设备与系统运行状态和健康状况的历史数据应能方便地查询，并能输出检验需要的相关记录。

6.2.2.3 一般要求

辅助决策构建在状态监测与健康评估的基础上，应满足 6.2.1 的要求，为船舶机械设备操作、维护等提供实施措施与决策建议。辅助决策作为视情维护的组成部分，基于对船舶机舱机械设备的历史与当前运行状况，以及未来运行状况趋势预测的综合考虑，为船舶机械设备提供合理、有效的维修方案。

6.2.2.4 详细要求

辅助决策系统应针对船舶机械设备的报警或预警信息，以及故障或失效的当前信息与预测信息，输出危害源及其影响、危害原因、推荐措施及备选方案等信息。或为优化船舶机械设备运行状态，给出机械操作、维护等优化建议。

若作为视情维护系统的组成部分，则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、备件的可利用性等。

计算机辅助决策应至少满足以下要求：

- a) 自学习和自我完善；
- b) 用户接口系统应具备人机交互功能；
- c) 存储问题求解所需要的信息；
- d) 充足的数据库容量；
- e) 按时序自动记录、备份决策建议的采纳、执行、纠错等情况信息。

6.2.3 视情维护

6.2.3.1 系统组成

视情维护构建在状态监测与健康评估的基础上，结合辅助决策给出的维修决策建议，有针对性地制定合理、有效的船舶机械维护方案。

视情维护系统的知识库主要来自于系统的初始数据、信息、组件、运行数据记录、维修历史和材料消耗历史等。

6.2.3.2 基本功能

完整的视情维护系统结构应包括从数据采集到具体维修方案等一系列功能，主要包括以下内容：

- a) 感知和数据获取；
- b) 数据处理和特征提醒、预报警；
- c) 失效或故障诊断；
- d) 预测未来健康状况和失效形式等；
- e) 维修方案，或为特定运行环境中设备可用性的评价；
- f) 对历史数据存储和管理；
- g) 系统配置管理；
- h) 人机交互；
- i) 船岸之间的双向数据交换；
- j) 按照时序自动记录、备份视情维护方案的采纳、执行和纠错等情况信息。

6.2.3.3 一般要求

视情维护应能基于设备及系统的健康评估结果，制定视情维护计划。相关的数据和信息应进行存储，并能输出检验所需要的信息。视情维护计划的历史数据应能进行查询。

结构应设计成开放式，当外部系统或子系统与部件更改、升级或置换时，应便于使用。

视情维护系统的知识库主要来自于系统的初始数据、信息、组件、运行数据记录、维修历史和材料消耗历史等。

6.2.3.4 详细要求

6.2.3.4.1 独立性

系统的模块和功能应相互独立，当其中的任意一个或多个系统和模块发生故障时，不应影响其他系统的正常工作。

系统中不同的子系统应相互独立。当其中任意一个子系统发生故障时，不应影响其他子系统的正常工作。

6.2.3.4.2 故障安全

系统的设计应能使运行过程中出现的任何故障不会导致其他故障的产生，并且其产生的危险性应尽可能降低。

系统应确保持续、有效、可靠地运行、更新和维护。

6.2.3.4.3 冗余

系统针对重要模块应有冗余配置，例如知识库、设备数据等应有备份容灾功能，防止因意外导致的相关数据和知识丢失。

7 设计验证

7.1 一般要求

智能机舱系统设计完成后，应对照本文件所规定的设计准则、功能设计和系统设计要求，开展验证，通过仿真验证、试验与实船验证的手段，验证输出对照设计要求的符合性。

7.2 试验要素分解

根据智能机舱系统的功能设计和系统设计要求，进行试验要素的提取：

- a) 分解出相应的试验对象及场景模块，提取各场景模块中测试要素，主要包括：
 - 1) 状态监测与健康评估类，包括但不限于状态数据采集、状态数据清洗与标准化、多源状态数据与信息质量评估、状态识别、状态趋势预测、状态衰退预测等；
 - 2) 辅助决策类，包括但不限于异常事件预警、故障诊断与识别；
 - 3) 视情维护类，包括但不限于使用与维护策略。
- b) 形成包括典型使用工况、运行状态、故障模式、失效形式等在内的基础试验要素集合。

7.3 验证内容

根据智能机舱系统的功能设计和系统设计要求，主要包括以下测试验证内容：

- a) 机械状态监测与健康评估：
 - 1) 测量设备/传感器的耐用性、鲁棒性、精度和灵敏度测试，能否对在实际动态范围内变化的被测参数/变量做出及时响应；
 - 2) 测量设备/传感器的防护等级和电磁干扰屏蔽能力测试；
 - 3) 动态特性测量系统的失真测试；
 - 4) 无线传感器通讯网络的信息传输量和服务质量测试；
 - 5) 测量设备/传感器的故障/失效探测能力测试；
 - 6) 数据系统的适应性测试；
 - 7) 数据采集模块、数据处理模块、状态监测模块功能测试；

- 8) 采集模块的硬件功能自检测试, 是否能够发出功能故障或错误报警;
 - 9) 诊断模块功能测试, 包括是否能够反映发生故障/失效的机械及其部件, 故障模式/失效形式, 故障/失效潜在的能观察到的症状, 相关的状态监测参数, 是否具备检测系统性能与退化级别的能力, 能否辨识特定系统或部件及其故障/失效发生的机理, 能否给出故障/失效对系统运行完整性的潜在影响的诊断结果等;
 - 10) 预测模块功能测试, 包括该模块能否预测机械故障模式的未来状态与趋势, 以及部件的失效时间等;
 - 11) 外部系统测试, 包括系统是否设置足够容量的服务器/数据库, 历史运行数据是否可随时被健康评估等其他功能模块检索调用等;
 - 12) 通信系统测试, 包括数字传输的有效性、可靠性、适应性、安全性、标准性和维修性。
- b) 辅助决策功能测试, 包括自学习/自我完善能力, 用户接口系统是否具备人机交互功能, 数据库/数据仓库容量是否充足, 决策算法的快速性以及准确性等;
 - c) 视情维护功能的测试, 包括机械状态监测与健康评估以及辅助决策的全部测试内容。

7.4 验证流程

针对智能机舱系统功能特点, 在仿真测试环境、试验和实船验证环境下, 以状态分析、评估与预测环节中的表现为评估标准, 建立智能机舱设备和系统辅助决策、视情维护的可信度测试模型, 评估智能机舱系统在实际应用中的功能需求。验证流程应划分为制定测试计划、完成测试准备、测试执行、测试结果分析、测试报告编制。

7.5 评价指标

解耦和量化可供分析的验证指标, 应从实时、离线两个维度建立评价指标体系:

- a) 针对智能机舱系统的实时操作部分, 设置时效性、准确性的评价指标;
- b) 针对智能机舱系统的离线操作部分, 设置模型的评价指标。