

指导性文件  
GUIDANCE NOTES  
GD15-2023



中 国 船 级 社

# 船舶智能机舱检验指南

**2023**

生效日期：2023年4月1日

北京

# 前 言

船舶设备的状态监测和维护是保障设备正常运行、提高设备工作效率、延长设备使用寿命的主要手段。随着设备制造技术的发展和科学技术的进步，现代设备的结构越来越复杂，自动化程度越来越高，设备的日常维护和故障检修越来越困难，设备维护的费用越来越高。机舱设备状态监测和维护的目的是及时地、准确地对多种异常状态或故障状态做出诊断，预防或消除故障，对设备的运行进行必要的决策支持，提高设备运行的可靠性、安全性和有效性，把故障损失降低到最低水平。

设备维护方式可分为三种，即事后维护（Corrective Maintenance）方式、定期预防维护（Preventive Maintenance）方式、视情维护（Condition-Based Maintenance，以下简称 CBM）方式。CBM 是通过对设备工作状态和工作环境的实时监测，借助人工智能等先进的计算方法，诊断和预测设备未来的有效工作周期，合理安排设备未来的维修调度时间。CBM 根据设备的实际运行状态确定设备的最佳维护时间，降低设备全寿命周期费用，增加设备的稳定性。CBM 的思想就是只有在设备需要维护时，才进行必要的维护。

船舶智能机舱相关技术涉及众多学科，如传感器技术、人工智能技术、计算机软件技术等，制定本指南的目的之一是为指导船舶机舱设备状态监测与健康评估、辅助决策与视情维护等技术和产品的发展、推广及应用。

本指南是 CCS《智能船舶规范》（以下简称规范）的组成部分，针对规范第 4 章智能机舱的内容作补充说明和详细规定。相关的认可与检验工作在满足本指南要求的同时，还须满足 CCS《智能船舶规范》的相关规定。

本指南主要以 ISO 机器状态监测与诊断系列标准、MIMOSA-CBM 开放系统框架及相关标准、人工智能方法与技术为基础，结合目前船舶智能机舱相关技术的现实应用情况，主要涵盖系统的技术要求、图纸资料审查、产品认可与检验、附加标志 M、Mx 和 CBM（X）建造及建造后检验、提供服务供方认可等内容。

本指南由 CCS 编写和更新，通过网页 <http://www.ccs.org.cn> 发布，本指南使用相关方对于本指南如有意见可反馈至 [ig@ccs.org.cn](mailto:ig@ccs.org.cn)。

# 目 录

<b>第 1 章 通 则</b> .....	<b>1</b>
1.1 目的.....	1
1.2 适用范围.....	1
1.3 附加标志.....	1
1.4 定义与缩写.....	1
<b>第 2 章 监测与测量技术要求</b> .....	<b>3</b>
2.1 一般要求.....	3
2.2 监测技术.....	3
2.3 测量.....	4
2.4 测量设备/传感器.....	7
2.5 人员.....	9
<b>第 3 章 状态监测与健康评估系统要求</b> .....	<b>10</b>
3.1 一般要求.....	10
3.2 系统组成.....	10
3.3 感知系统.....	11
3.4 数据系统.....	12
3.5 健康评估系统.....	13
3.6 外部系统.....	15
3.7 通信系统.....	15
3.8 交互系统.....	16
<b>第 4 章 辅助决策系统要求</b> .....	<b>17</b>
4.1 一般要求.....	17
4.2 DSS 分类.....	17
4.3 计算机 DSS 结构组成.....	17
4.4 DSS 技术要求.....	21
<b>第 5 章 视情维护系统与体系要求</b> .....	<b>22</b>
5.1 适用范围.....	22
5.2 CBM 系统组成与功能.....	22
5.3 对管理视情维护系统机构和人员的要求.....	23
5.4 对提供状态监测与健康评估服务供方的要求.....	24

5.5 对系统/产品的要求 .....	24
<b>第6章 图纸与资料审查要求 .....</b>	<b>26</b>
6.1 审查依据 .....	26
6.2 图纸资料 .....	26
<b>第7章 系统认可与试验技术要求 .....</b>	<b>29</b>
7.1 适用范围 .....	29
7.2 认可/检验依据 .....	29
7.3 典型样品的选择 .....	29
7.4 产品持证要求 .....	29
7.5 型式认可 .....	29
7.6 单件/单批检验 .....	32
<b>第8章 附加标志检验 .....</b>	<b>33</b>
8.1 适用范围 .....	33
8.2 资料批准 .....	33
8.3 船上资料 .....	33
8.4 检验与试验 .....	34
<b>附录1 设备与系统状态监测项目表 .....</b>	<b>37</b>

# 第 1 章 通 则

## 1.1 目的

1.1.1 本指南补充规定了船舶机舱设备与系统（以下简称“设备与系统”）状态监测与健康评估系统、辅助决策系统、视情维护系统的技术要求、认可与检验要求，可作为 CCS 验船师、制造厂、提供服务供应商和船舶管理公司等指导性文件。

## 1.2 适用范围

1.2.1 适用于申请 CCS 智能机舱 M 和 Mx 功能标志以及申请设备 CBM (X) 附加标志的船舶。

1.2.2 适用于设备与系统的状态监测与健康评估系统、辅助决策系统、视情维护系统的认可与检验工作。

## 1.3 附加标志

1.3.1 智能机舱功能标志 M、Mx 见 CCS《智能船舶规范》第 4 章 4.2 的规定。

1.3.2 对一个或多个设备与系统实施状态监测和健康评估，并依据评估结果制定该设备与系统视情维护方案的船舶，根据自愿申请，经 CCS 检验合格后可授予船舶设备视情维护附加标志 CBM (X)，其中 X 用于标识实施视情维护的设备，例如 CBM(Cargo Pumps)，表示船舶的货泵实施了视情维护。

注：CCS《智能船舶规范》第 4 章适用范围之外的设备与系统可申请 CBM (X) 附加标志。

## 1.4 定义与缩写

### 1.4.1 定义

- (1) 诊断：检查设备的症状和症候群，以确定故障或失效的性质（种类、状况、程度）；
- (2) 故障：当设备的一个部件或组件劣化或出现可能导致设备失效的反常状态时，部

件所处的状态。故障可以是失效的结果，但未失效也可能存在故障；计划内的活动或缺乏外部资源都不是故障；

- (3) 失效：丧失完成某项规定功能(设备或系统所要求的或期望的作用和指定的活动)的能力，失效是区别于故障的事件；
- (4) 预测：对故障的症状进行分析，以预估设备未来的状态与趋势；
- (5) 其他相关词汇见 ISO 13372。

#### 1.4.2 缩写

- (1) 计划保养系统 (Planned Maintenance System) : PMS;
- (2) 设备状态监测与健康评估系统 (Machinery Condition Monitoring and Health Assessment System) : MCM&HAS;
- (3) 辅助决策系统 (又称决策支持系统, Decision Support System) : DSS;
- (4) 视情维护 (Condition-Based Maintenance) : CBM。

## 第 2 章 监测与测量技术要求

### 2.1 一般要求

2.1.1 满足 CCS《智能船舶规范》第 4 章 4.4.4 的相关要求。监测与测量可以采用固定测量设备/传感器，也可采用便携式的测量设备。

### 2.2 监测技术

2.2.1 状态监测程序须考虑监测、数据采集的可行性，包括接近性、数据采集系统的复杂性、数据处理能力、安全性以及是否包含健康评估所需的参数。

2.2.2 目前船舶动力机械所使用的状态监测技术主要包括振动监测、油液分析、无损检测、机械结构参数监测、性能参数监测、瞬时转速监测等。智能机舱应采用合适的监测技术手段，但不限于上述的一种或多种，也可以采用其他监测技术手段，如热成像等，以实现功能为目的。

2.2.3 本指南附录 1 给出了设备与系统的主要监测参数，但不限于附录 1 中的参数。如对于一些参数（电流、电压和振动等），其简单的监测不足以指示故障/失效的发生，则须监测该参数的图谱或相位值等。

2.2.4 振动监测：振动状态监测的目的是为了评定机器持续运行期间的“健康”状态，应依据被监测的设备类型和关键部件，选择一个或多个监测参数和合适的监测系统。振动监测主要包括时域分析、FFT<sup>①</sup>频谱分析、包络分析、谱辐射能量分析、相位测量、高频检测等方法。

2.2.5 油液分析：通过分析油样中磨料磨粒的不同信息，可以得到设备的不同状态信息。机械状态监测中的油液分析技术主要是指光谱分析、铁谱分析、理化分析、磁塞检查法、颗粒计数法等。每一种方法的检测指标、优势、局限各不相同，实际应用中可根据不同需求选择适当的分析方法。

2.2.6 无损检测：是指在不损害或不影响被检测对象使用性能，不伤害被检测对象内部

---

<sup>①</sup>FFT：快速傅里叶变换（Fast Fourier Transform），即利用计算机计算离散傅里叶变换（Discrete Fourier Transform）的高效、快速计算方法的统称，简称 FFT。

组织的前提下，对试件内部及表面的结构、性质、状态及缺陷的类型、性质、数量、形状、位置、尺寸、分布及其变化进行检查和测试的方法，主要检测方法有射线检测、超声波检测、磁粉检测、渗透检测、涡流检测、声发射检测等。

2.2.7 结构参数监测：不同的设备其结构参数不同，可监测的参数主要有刚度和阻尼。

2.2.8 性能参数监测：设备与系统的功能好坏可用一定指标来衡量，如位移、速度、功率、压力、输出转矩、流量、温度等。

2.2.9 瞬时转速监测：转速信号能够反映设备运行状态好坏，分析转速的波动可以得到其运行状态和相关的故障信息。通过提取出信号的特征值，统计发生故障时特征值的变化规律，设定各状态下故障特征参数阈值，最终实现状态检测，主要包括波形分析法、转矩估计法、谐波分析法、多特征信息融合法。

## 2.3 测量

2.3.1 数据采集无论是连续采集或是周期采样，都应考虑测量的时间间隔，测量间隔主要取决于故障/失效类型及其发展率以及相关参数的变化率。测量间隔应考虑设备与系统运行工况、故障/失效危害度等因素的影响。数据采集的时间间隔不一定是恒定不变的，它取决于设备当时的状态。

2.3.2 对于稳态工况，数据采集速率应能在工况改变前捕捉到完整的数据或数据组；对于瞬态工况，数据采集速率应能及时监测瞬时状态的变化。

2.3.3 不同状态参数的测量应在同一时刻或相同运行工况下进行。对于负荷可变或速度可变的机械，可采用变换速度、载荷或其他参数达到相似的测量状态。

2.3.4 测量应设置在最可能检测出故障/失效的位置，测点应使用永久标记或识别码等作出唯一标识。测点的设置应考虑安全性、传感器安装、信号传输、信号衰减或损失、对故障/失效变化的灵敏度、测量的可重复性、可接近性、环境等因素的影响。

2.3.5 对监测到的原始数据应进行预处理，包括滤波、压缩和相关运算等，以滤除噪声和干扰，提高信号的信噪比。

2.3.6 为保证测量的可复现性，一般应使用相同的测量传感器/仪器进行测量，但如需要更换测量传感器/仪器，应采用不低于相同型号、相同灵敏度及相同校准方法的测量传感器/仪器进行测量。

2.3.7 为保证测量的可行性，需考虑测量的可接近性、数据采集系统的复杂性、要求的数据处理能力、安全性、测量成本以及是否有监视或控制系统已经测量了关注的参数。

2.3.8 振动测量应满足以下要求：

- (1) 传感器与测量点之间必须进行绝缘处理；
- (2) 除特殊情况外，对于静止部件上振动监测的测量值通常为振动速度或振动加速度；对于监测旋转件的相对位置和相对运动，测量值为振动位移；对于滚动轴承和齿轮振动监测的测量值为振动加速度；
- (3) 为保证振动监测的可靠性，测量的频率范围应适合于被监测的机械；
- (4) 为保证传递高频信号、减少信号损失，振动传感器的安装应采用固定可靠的连接方式，以防止由于设备正常运转导致传感器的失效；
- (5) 当永久固定振动传感器不现实时，可采用手持式固定。手持式固定有频率局限性，通常不推荐用于 500Hz 以上频率的测量，但便携式测量仪器有特殊说明的除外；
- (6) 振动测量位置的信息参考 ISO 13373-1 附录 D；
- (7) 振动测量周期应根据历史分析经验以及采集到数据的类型、质量和数量决定；
- (8) 测点通常选择在设备振动的敏感点、离设备核心部位最近的关键点及易劣化的点，一般为刚性支承点，且需考虑环境因素；
- (9) 测点数量要适中，针对不同部件劣化种类的不同选择合适测量方向，例如旋转设备的不平衡通常发生在水平方向上，地脚螺栓的松动发生在垂直方向上；
- (10) 伴随采集的任何振动数据都应该清楚地说明，诸如转速、负载温度等运行状态。至少应该包括轴的转速，设备的负载（功率，流量，压力等）和其它可能影响振动测量的运行参数；
- (11) 在数据采集过程中，非常强调运行状态应该尽可能接近设备的额定运行状态，以确保数据的一致性和有效的可比性。如果不可能达到这种状态，为了评定数据的任何差异，必须知道该设备的特性；
- (12) 振动测量的幅值范围应以被监测的具体设备以前的经验或评定准则作为基础来选择，应覆盖从最低到最高的预期幅值。如果以前没有经验，参照可使用的标准（例如 ISO 10816 或 ISO 7919 等系列标准）用于振动测量推荐的幅值范围；
- (13) 可靠的振动状态监测要求测量装置应覆盖宽的频率范围，使之不仅能包括轴的旋转频率及其谐波，而且还能包括其他部件，但通常不应大于传感器的最大线性范围；

- (14) 依据设备不同特点，振动基准数据的测量可包括如下列举的全部或部分数据：  
宽带振动幅值（位移，速度和/或加速度）、旋转频率、转速频率的振动幅值、  
振动矢量（振动幅值和相位）、稳态时振动信号的频谱分析、升速或降速时频率  
响应数据（例如波德图，谱阵图，极坐标图等）、轴心轨迹分析、轴心位置等。

2.3.9 温度监测时，测量装置/仪器的安装位置、电源和线缆等均是影响温度测量精度的因素，在选择、布置和安装测量装置/仪器时须考虑如下要素：

- (1) 选择传感器时，应注意传感器的线性特征、复现性、迟滞性（特别是双金属仪器）和漂移性是否适用于测量环境；
- (2) 温度测量时，应考虑热梯度对测量的影响，特别是导热性较差的被测物体，如空气、大多数液体、绝缘体和其他非金属固体等；
- (3) 温度测量时，应考虑热辐射对测量的影响，必要时，为减少热辐射影响，测量装置/仪器应进行涂装或包扎，或进行热屏蔽处理；
- (4) 温度测量时，应确保测量装置/仪器与被测物体的良好的热接触；
- (5) 温度测量时，如果被测物体的温度变化迅速，应考虑使用热时间常数较低的测量装置/仪器；
- (6) 温度测量时，应考虑电噪声或电子干扰对测量的影响，下列方法能有效避免此类影响：采用屏蔽功能的双绞线电缆；测量装置/仪器的线缆安装远离电力电缆、变压器和其他电气设备；安装低通滤波器的测量装置，并避免接地回路；
- (7) 温度测量时，应考虑大气冷凝蒸发对测量的影响，测量装置/仪器及其线缆应与冷凝环境隔离，或者进行有效的密封处理/包扎等；
- (8) 温度测量时，应考虑机械应力对测量的影响。如电阻温度探测器等测量装置/仪器易受到机械应力的影响，应确保此类测量装置/仪器在安装后不易产生变形；避免使用粘合剂进行安装；采用与被测物体的线膨胀系数相近的测量装置/仪器；使用对机械应力不太敏感的器件，如热电偶。

2.3.10 油液分析时需满足的要求：

- (1) 油液分析前需对被监测设备当前状态进行信息录入，包括机器结构、润滑方式、摩擦副材料与性能、润滑油性能等；
- (2) 油液取样位置需尽可能多地包含磨损状态和故障信息，并能够流经机器系统全部摩擦副磨损表面，油液取样及分析可参考 CCS《钢质海船入级规范》第 1 篇第 5 章附录 15 柴油机滑油状态监控系统检验指南、附录 14 螺旋桨轴状态监控系统指

南的有关要求；

(3) 取样时间间隔主要根据被监测设备的特点、运行阶段及监测各故障诊断准确性要求的程度而定；

(4) 油样取出后进行分析前需进行相应处理，如加热、稀释等。

2.3.11 噪声测量应满足的要求：

(1) 测量附近存在较大的反射面，应予以说明；

(2) 气象条件不应影响测量，而且应被正式记录；

(3) 外来声源（如人、施工作业、风、浪、其他设备等）的噪声不应影响测量部位的声压级；

(4) 考虑到测量的不确定度，测量的时间应足够长，至少为 10 秒，以便在指定的时间间隔完成等效连续 A 计权声压级的测量；

(5) 如有必要，可采取相关的降噪措施（消声器、隔声舱等）。

2.3.12 基准数据的测量除了满足 CCS《智能船舶规范》第 4 章 4.4.4 的要求外，还应满足下列要求：

(1) 基准数据的测量应在设备与系统处于可接受的稳定运行状态时进行；

(2) 基准数据的测量应在明确定义的操作条件下进行，并提供相应的修正办法；

(3) 基准数据应在设备寿命早期建立，并准确地规定设备与系统的初始稳定工况；

(4) 在基准数据测量前，应先确保测量结果的可靠性。如果状态监测系统出现任何故障，应先纠正故障后，再进行基准数据的测量；

(5) 基准数据应经相关技术人员验证和评估后，提交 CCS 审核。

## 2.4 测量设备/传感器

2.4.1 测量设备/传感器的选择应考虑量程、精度、灵敏度、频率响应特性、线性范围、稳定性和拆装便捷性等因素。

2.4.2 用于状态监测的测量和分析过程的传感器、设备、仪器和仪表应委托有资质进行检验、试验或校准服务的计量部门进行定期校准或检定，以使仪器和仪表精度保持在规定的范围内。所有经过校准的传感器、设备、仪器和仪表都应张贴校准标签或持有校准证书。

2.4.3 用于状态监测的测量过程的设备、仪器和仪表的量程和精度的选取首先应保护仪

器设备在测量过程中不会降低其可靠性或导致损坏；其次是满足最低测量误差，提高测量结果可信度的需求。

2.4.4 传感器安装应牢固可靠，在整个测量过程中不应有任何移动。确保传感器能正常工作，以保证传感器提供的数据的准确性。

2.4.5 用于检测故障预警信息的传感器组件应该具有耐用性、鲁棒性、高精度和高灵敏度，能对在实际动态范围内变化的被测参数/变量做出及时响应。

2.4.6 传感器的布局应该以满足控制和特性检测的需要为目标。

2.4.7 用于故障诊断的传感器优化布局应考虑可探测性、可识别性、故障探测可靠性、传感器的不确定度等。

2.4.8 振动测量设备技术要求：

- (1) 振动传感器位置取决于被测量的具体设备和规定的参数。在确定“位置”之前，首先必须确定应监测的参数。一般而言，应定位于最可能提供最大振动值的位置处，最可能早期提供摩擦或故障指示的位置处。最好根据机器制造厂和用户的经验选定具体的位置；
- (2) 振动测量精度：类型 1：在所要求的测量幅值和频率范围内，有校准灵敏度士 5% 的测量允差；类型 2：在所要求的测量幅值和频率范围内，有校准灵敏度士 10% 的测量允差。在所要求的幅值和频率范围内，校准灵敏度变化大于 10% 的测量不符合本方法，除非采取专门的预防措施使它们在要求的公差内。根据本方法进行的测量应说明使用了相应于类型 1 或类型 2 的规定，见图 2.4.8；
- (3) 振动测量及校准设备应满足 CCS《钢质海船入级规范》第 1 篇第 5 章附录 8 附页 1 第 14 款的相关要求。

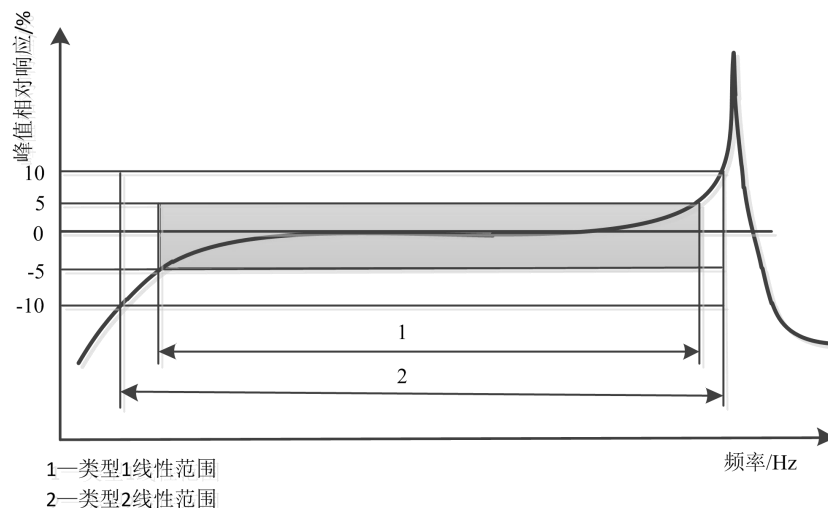


图 2.4.8 系统的频率响应

#### 2.4.9 噪声测量设备技术要求：

- (1) 噪声测量设备，常用测量仪器有声级计、声功率计、频率分析仪和记录、显示仪器等。声级计应符合 IEC 61672-1<sup>②</sup>的相关要求；当频程滤波器单独使用或与声级计结合使用时（视具体情况），则应符合 IEC 61260 的相关要求；
- (2) 每次测量前后，传声器应用 $\pm 0.3\text{dB}$ 精度的声校准器校准，以校验整个测量系统的标定在一个或多个有关的频率范围之内；
- (3) 声音校准仪应符合 IEC 60942 标准要求，并应经所使用声级计的制造商同意。声音校准仪和声级计应至少每两年由国家标准实验室或按照 ISO 17025 认可的胜任实验室进行验证。

## 2.5 人员

2.5.1 船上相关操作人员应熟悉并适任智能系统的操作和维护等工作。

2.5.2 如由供方提供机舱设备与系统的状态监测与健康评估服务，则供方相关人员的培训及资质应符合 CCS《供方认可及人员资格管理指南》的规定。

---

<sup>②</sup> 本部分的声级计是用于测量人耳听觉范围的声音，为了测量在有超声情况下的可听声，可以使用 IEC 61012 中规定的 AU 计权。

## 第 3 章 状态监测与健康评估系统要求

### 3.1 一般要求

3.1.1 MCM&HAS 主要功能包括：传感和数据获取、数据处理和特征提取、产生警告、故障/失效诊断和状态评估、预测未来健康趋势、管理和控制数据流动和测试时序、对历史数据存储和存取管理、系统配置管理、人机系统界面等。

### 3.2 系统组成

3.2.1 MCM&HAS 一般包括感知系统、数据系统、健康评估系统、外部系统、通信系统和交互系统，参考图 3.2.1。

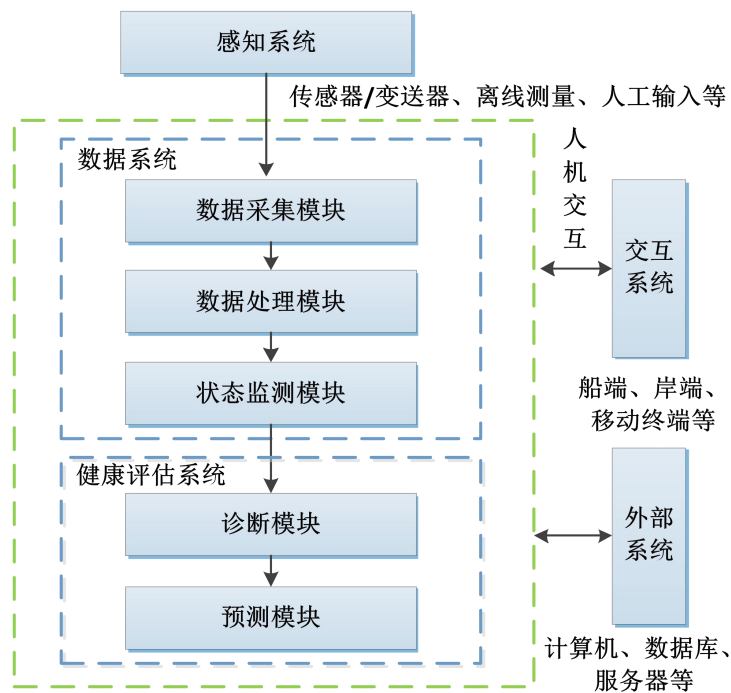


图 3.2.1 MCM&HAS 系统框架图

3.2.2 感知系统可采用连续在线监测、离线测量和人工输入等方式实现状态信号的获取。

3.2.3 数据系统可包括数据采集模块、数据处理模块和状态监测模块。

- (1) 数据采集模块：将传感器输出转换为表示物理量和相关信息数字参数（例如时间、校准、数据性质、所用数据采集器、检测器配置等）；

- (2) 数据处理模块：执行信号分析，计算有意义的描述符，对原始测量数据进行特征提取、算法计算等操作，其结果用于状态监测模块；
- (3) 状态监测模块：每当采集到新的数据时检索是否异常，并判定异常范围及数据的归属（例如“预警”或“报警”）。主要完成感知系统和数据处理系统输出数据与系统中限定值的比较功能以及简单的报警功能。

3.2.4 健康评估系统可包括诊断模块和预测模块。

- (1) 诊断模块：分析状态信息，诊断设备的故障/失效；
- (2) 预测模块：基于设备与系统当前的状态评估，预测未来的健康状态、失效模式。

3.2.5 外部系统实现数据的存储、备份、查看与管理等功能。

3.2.6 通信系统实现感知系统与数据系统、数据系统内部、数据系统与交互系统、船端与岸端的可靠与安全通信。

3.2.7 交互系统实现对船端、岸端和移动终端系统（如有时）的显示和信息表达功能。交互系统与外部系统在物理上可能存在重合部分。

### 3.3 感知系统

3.3.1 硬件系统必须具有检测多个参变量的能力，而且要能够通过统计特性分析、主成分分析、滤波等信息融合技术最终实现减少噪声和干扰的目的。

3.3.2 测量设备/传感器组件应具有耐用性、鲁棒性、高精度和适当的灵敏度，能对在实际动态范围内变化的被测参数/变量做出及时响应。

3.3.3 传感器应具有统一规则的标识，便于识别。

3.3.4 测量设备/传感器应具备一定的防护等级和电磁干扰屏蔽能力，能在船上安装的场所或环境中正常工作。

3.3.5 测量设备/传感器应考虑三个因素：可探测性、可识别性、可靠性。另外，为保证传感器的测量能力，传感器的不确定度也应该加以考虑。

3.3.6 动态特性测量系统必须是无失真的，系统应具有较高的频带宽度，具有高可靠性且容易操作。

3.3.7 无线传感器通讯网络需完成信息的传输，并达到预定的信息传输量和服务质量。

3.3.8 测量设备/传感器的故障/失效探测能力指的是传感器探测到特定故障/失效存在的

能力。它取决于以下指标：传感器的信噪比、探测时间与失效时间比、故障探测灵敏度、征兆持续时间与失效时间比。

- (1) 信噪比可以通过构造各种可能的噪声信号源的随机分布，并应用不确定度的传递定律进行估计；
- (2) 探测时间指的是故障开始形成到传感器检测到它时所持续的时间，而失效时间指的是故障开始形成到失效所持续的时间；
- (3) 传感器的故障探测灵敏度定义为测量到的故障/失效变化量与传感器测量输出值变化量的比值。

3.3.9 智能传感器需容易安装，并具备自识别、自诊断、可靠、时间一致性等功能和某些软件功能和 DSP<sup>①</sup>功能，以及具有标准控制协议和网络接口（IEEE 1451），以提高测量点的智能性，降低组成和维护分布式传感器系统的成本，集传感、控制、计算和通信于一体，准确连接不同类型的传感器，一般模型如图 3.3.9 所示：

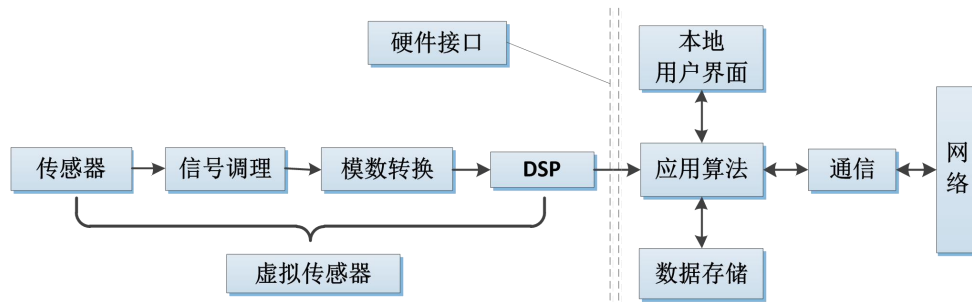


图 3.3.9 智能传感器一般模型

3.3.10 输入主要包括历史数据、从底层设备采集的数据及相关配置参数等。输出主要包括采集整理的数据、配置参数、控制命令等。

3.3.11 感知系统的输入来源可为传感器、变送器或者人为输入，输出信息应包括数字化数据（标量数据的浮点值、动态数据复制和时间序列、用于润滑油/空气/水样品数据的样品实验结果）、时序数据/时间基准数据、数据质量指标。

### 3.4 数据系统

3.4.1 数据采集模块的功能是收集模拟数据、数字数据和人工数据，并将模拟数据转换

<sup>①</sup> DSP: Digital Signal Processing, 数字信号处理。

成数字数据。

3.4.2 数据系统应能适应多种通信方式或模拟量/开关量等信号的采集与处理。

3.4.3 数据采集模块本质上是一个经校准的数字化传感器数据记录的服务器。数据采集模块可以代表为系统提供对自动输入或人工输入的数字化数据的访问的软件模块，或者代表具有来自传统传感器（legacy sensor）的模拟输入的专门的数据采集模块，或者收集和合并来自数据总线的传感器信号。此外，数据采集模块可能表示智能传感器的软件接口。

3.4.4 数据采集模块的输出包括：数字化数据、时序数据/时间基准数据（通常参考 UTC 或地方时区）、数据质量指标（例如，好、差、未知、检查中等）。

3.4.5 数据处理模块的主要功能是执行信号处理（例如，滤波、开窗、FFT 等）、执行同步或非同步平均、执行算法计算、执行特征提取等。

3.4.6 状态监测模块的主要功能是将数据采集模块和/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（boundary exceedance）的枚举状态指标。

3.4.7 状态监测模块输出的指标数据可为设备与系统健康评价作参考，产生警报和警告。

3.4.8 采集模块能够对硬件本身进行功能自检，并能够发出功能故障或错误报警。

3.4.9 数据系统的输出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。

### **3.5 健康评估系统**

3.5.1 健康评估系统应运用某些算法或分析技术，实现计算机自动诊断并预测当前和潜在的故障/失效状态，如条件限制，可采用人工手段辅助完成诊断与预测。

3.5.2 诊断模块实现故障/失效检测、辨识、定位、早期隔离，诊断信息至少包含以下内容：

- (1) 可能发生故障/失效的设备与系统及其部件，以及故障模式/失效形式；
- (2) 故障/失效潜在的能观察到的症状；
- (3) 相关的状态监测参数；
- (4) 诊断方法、依据和解释。

3.5.3 诊断算法满足如下要求：

- (1) 具备检测系统性能与退化级别的能力；
- (2) 通过可测的现象检测出基于物理特性改变的故障/失效的能力；
- (3) 能辨识特定系统或部件及其故障/失效发生的机理；
- (4) 给出故障/失效对系统运行完整性的潜在影响的诊断结果。

#### 3.5.4 诊断的性能指标：

- (1) 及时性：是指被监测系统/设备在发生故障/失效后，系统快速检测到故障/失效的能力；
- (2) 灵敏度：是指系统对微小故障/失效信号的检测能力，能检测到的故障/失效信号越小说明其早期检测的灵敏度越高；
- (3) 虚警：指被监测系统/设备没有出现故障/失效却被错误检测出发生故障/失效；
- (4) 虚警率 ( $r_{FA}$ )：在规定的时间内发生的虚警次数与同一时间内故障/失效指示总数之比，计算公式为  $r_{FA} = N_{FA} / (N_F + N_{FA})$ ，式中， $N_{FA}$ ——在规定时间内虚警次数； $N_F$ ——在同一时间内正确故障/失效报警次数；
- (5) 漏警：指被监测系统/设备发生故障/失效却没有被检测出来；
- (6) 漏警率 ( $r_{MA}$ )：在规定的时间内发生的漏警次数与同一时间内故障/失效总数之比，计算公式为  $r_{MA} = N_{MA} / (N_F + N_{MA})$ ，式中， $N_{MA}$ ——在规定时间内漏警次数； $N_F$ ——在同一时间内正确故障/失效报警次数；
- (7) 故障/失效隔离能力：是指系统对不同故障/失效的区别能力，隔离能力越强，对故障/失效的定位就越准确；
- (8) 故障/失效辨识能力：是指系统辨识故障/失效大小和时变特性的能力；
- (9) 鲁棒性：是指系统在存在噪声、干扰等的情况下正确完成故障/失效诊断任务，同时保持低虚警率和漏警率的能力；
- (10) 自适应能力：是指系统对于处于变化状态的被监测系统/设备具有自适应能力，并且能够充分利用变化产生的新信息来改善自身。

#### 3.5.5 减少虚警和漏警的措施：

- (1) 确保监测数据的有效性；
- (2) 最优特征选择/提取；
- (3) 故障检测/识别算法上的最优选择；
- (4) 证据合成/融合 (D—S 理论)；
- (5) 故障/失效分类算法融合；

(6) 仅当置信水平/确定性超过设定的阈值时声明故障/失效。

3.5.6 预测模块对设备与系统故障模式的未来状态与趋势进行预测。

3.5.7 预测信息须至少包含以下内容：

- (1) 在预测过程中，被监测设备与系统的运行工况、监测参数等；
- (2) 预测结论，包括所有已识别的失效模式；
- (3) 置信度、有效条件和风险分析；
- (4) 为提高置信度而需要的附加试验/验证工作；
- (5) 预测方法、依据和解释。

3.5.8 输入主要包括数据系统输出数据以及历史数据、其他健康评估系统的输出数据及历史数据、专家知识、维修记录、控制命令、相关配置参数等。输出主要包括性能评估结果、解释、相关配置参数及要保存的历史数据等。

### **3.6 外部系统**

3.6.1 系统应设置足够容量的服务器/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（保存至少 5 年，建立数据备份机制）。

3.6.2 考虑到船东隐私问题，任何对状态数据的查看、获取、存储与使用应事先得到船东的许可与授权。

3.6.3 历史运行数据可随时被健康评估等其他功能模块检索调用。

3.6.4 历史数据趋势可用于统计相关性分析，为了精确，应审查核实以前健康状态评估和根本原因信息。

### **3.7 通信系统**

3.7.1 满足 CCS《钢质海船入级规范》第 7 篇第 2 章 2.6.6 II 类和 III 类系统数据链路的相关要求。

3.7.2 智能传感器/变送器的通信满足 IEEE 1451 系列标准。

3.7.3 通信系统应确保数字传输的有效性、可靠性、适应性、安全性、标准性和维修性，以及确保船端与岸端、岸端与移动终端（如有时）之间安全与可靠的双向数据交换。

3.7.4 为了将跨越不同平台、不同厂商、用不同编程语言实现的模块集成为一个整体以实现健康评估的功能，需要制定一套通信标准以实现模块间的交互，通信标准的体系结构可划分为三个层次：数据交换接口、层次接口、通信协议。数据交换接口提供各模块的应用编程接口，奠定模块间通信的基础；层次接口提供了模块间通信的信息内容描述，是模块间通信的重要条件；通信协议直接面向应用，是关于消息如何在系统中各执行者间进行交换的一种约定，是实现模块间通信的必要条件。

### 3.8 交互系统

3.8.1 交互系统应具有用户友好的人机界面，操作方便。可显示所有机械总体画面及各个子系统/部件分画面。且可以设定机械状态多级报警值，同时可以输出不同的统计信息，包括报警信息、测量信息、信号异常信息、健康评估结果等。

3.8.2 输出的数据与信息至少包括以下内容：

- (1) 标识码或编号：通过设备号、部件号、评价日期等历史记录描述被检测机械的识别；
- (2) 状态监测：显示被监测机械的具体状态信息与趋势性数据等；
- (3) 健康评价：显示被监测机械当前或潜在的故障/失效的诊断结论，以及失效预测信息。

3.8.3 交互系统应能把数据转换成能够清楚表达做出正确决定所必需信息的格式，例如文字描述形式、表示复制的数字形式、表示趋势的图表形式或者三种形式的组合。

3.8.4 为了便于资深人员的分析，需要相关的技术显示来展示诸如趋势和相关的异常区域数据，为分析人员提供需要识别、确认或理解异常状态的数据。

3.8.5 为了让用户对状态快速了解，对大多数用户而言，可以把显示分为五个不同的区域，随后的多窗口可以显示更详细的附加数据。五个不同的区域为状态检测、健康评价、预测、推荐措施、识别。如情况特殊，可为具体应用开发定制显示格式。

3.8.6 对不同需求的操作人员设定不同的权限，防止人员误操作，保证系统的安全性。

## 第 4 章 辅助决策系统要求

### 4.1 一般要求

4.1.1 DSS 构建在 MCM&HAS 的基础上，须满足第 3 章要求。

4.1.2 DSS 可以作为 CBM 系统的组成部分，基于对设备与系统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，为设备与系统提供合理、有效的维修方案；也可以与 MCM&HAS 结合形成独立的系统，为设备与系统的操作、维护等提供实施措施与决策建议。

### 4.2 DSS 分类

4.2.1 按照执行决策支持的主体不同，DSS 可分为计算机 DSS、人工 DSS。

4.2.2 计算机 DSS：通过把人类判断能力和计算机化信息结合起来，由计算机自主完成分析与评估，为设备与系统提供操作决策建议或维护方案等信息。

4.2.3 人工 DSS：船/岸技术人员对 MCM&HAS 输出的设备与系统状态信息、和/或分析与评估结果进行分析，为设备与系统的操作、维护等提供实施措施与决策建议。

4.2.4 如条件限制，可由人工 DSS 协助计算机 DSS 完成决策支持的分析与评估工作。

### 4.3 计算机 DSS 结构组成

4.3.1 按照组成结构不同，DSS 可分为：传统 DSS、智能决策支持系统(Intelligent Decision Support System, IDSS)、新决策支持系统(New Decision Support System, NDSS)、综合决策支持系统(Synthetic Decision Support System, SDSS)。常见的 DSS 分类参考图 4.3.1。

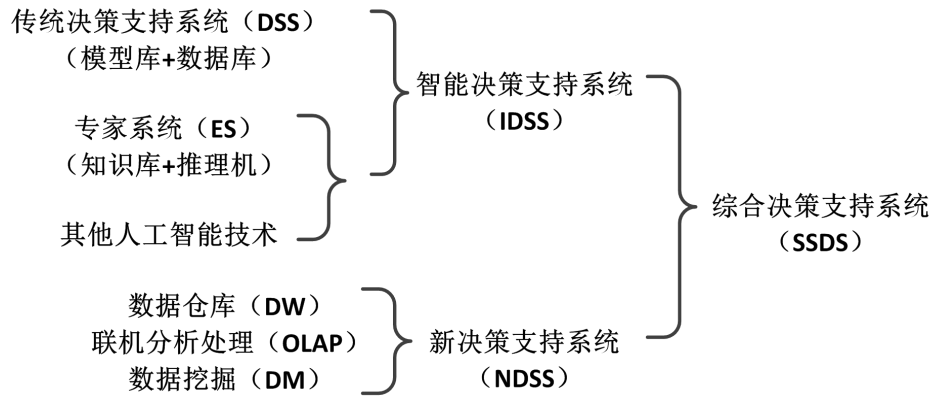


图 4.3.1 常见 DSS 分类

4.3.2 传统 DSS 主要由数据库系统、模型库系统、用户接口等子系统组成。参考图 4.3.2。

- (1) 数据库系统：包括数据库和数据库管理系统（DBMS，Data Base Management System）。数据库中存储与实际问题相关的数据，它由数据库管理系统进行管理；
- (2) 模型库系统：包括模型库，以及其他可提供决策分析能力的定量模型，由模型库管理系统（MBMS，Model Base Management System）为用户提供建模语言和功能以及模型库管理功能；
- (3) 用户接口系统：DSS 与用户之间的交互界面，DSS 向用户提供决策建议；用户可以向 DSS 进行信息反馈帮助系统纠错、自学习。人机交互可以通过菜单、问答、表格、自然语言、窗口等信息化方式进行。

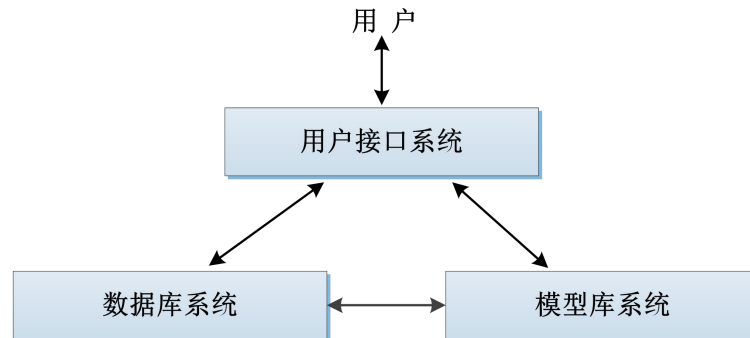


图 4.3.2 传统 DSS 基本结构

4.3.3 IDSS 将人工智能技术融入传统 DSS 中，弥补传统 DSS 单纯依靠模型技术和数据处理技术，以及用户高度卷入可能出现意向性偏差的缺陷。与决策支持有关的人工智能技术主要有专家系统(ES, Expert System)、神经网络、遗传算法、机器学习、智能代理技术(Agent)、自然语言理解等技术。

4.3.4 机械领域应用最成熟的基于 ES 的 IDSS, 在传统 DSS 基础上集成 ES, 使传统 DSS 更充分地应用人类的知识或智慧型知识, 如关于决策问题的描述性知识、决策过程中的过程

性知识、求解问题的推理性知识等，并通过逻辑推理帮助解决复杂的决策问题。ES 主要由知识库、知识获取子系统、推理机和动态数据库组成。IDSS 基本结构参考图 4.3.4。

- (1) 知识库 (KB, Knowledge Base) 包括两个基本要素：事实 (如有关问题领域内的问题情况及其理论)、专门的启发性知识或者规则；
- (2) 知识获取子系统 (Knowledge Acquisition Subsystem)：知识获取是把用于求解专门领域问题的知识从拥有这些知识的知识源提取出来，转换成计算机程序，以建立或扩展知识库的过程。知识的来源可以是人类专家、教科书、数据库、研究报告、案例等等；
- (3) 推理机 (Inference Engine)：在诊断对象故障/失效发生时，采用某种策略调用知识库中的相应知识，对诊断对象进行检测，根据征兆数据，进行分析与隔离，直至定位到故障/失效源。推理机的性能与推理过程的透明度直接影响推理的结果与效率；
- (4) 传统 DSS 中的数据库可以看成是相对静态数据库，它为 ES 中的动态数据库提供初始数据，待 ES 推理结束后，动态数据库中的结果再返回至 DSS 的数据库中。

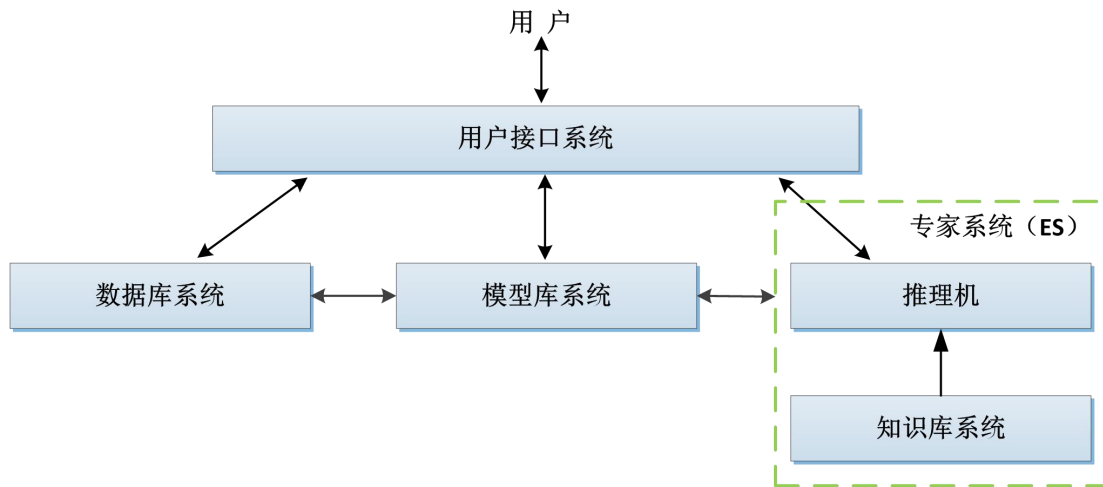


图 4.3.4 IDSS 基本结构框图

4.3.5 NDSS：基于数据仓库的 DSS，由数据仓库、联机分析处理和数据挖掘 3 种技术结合而成。参考图 4.3.5。

- (1) 数据仓库 (DW, Data Warehouse)：将数据库中大量的历史数据、实时数据和综合数据等按决策需求进行重新组织，以数据仓库的形式进行存储，为用户提供辅助决策的随机查询、综合数据以及随时间变化的趋势分析信息等；
- (2) 联机分析处理 (OLAP, Online Analytical Processing)：共享多维信息的、针对特定问题的联机数据访问和分析的快速信息技术；

- (3) 数据挖掘 (DM, Data Mining)：从大量数据中提取出隐藏在数据中的有用信息，提供决策支持。

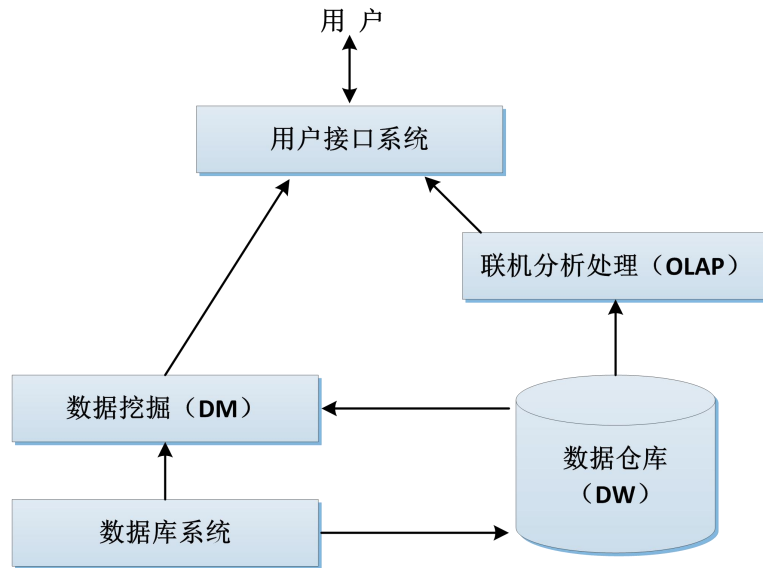
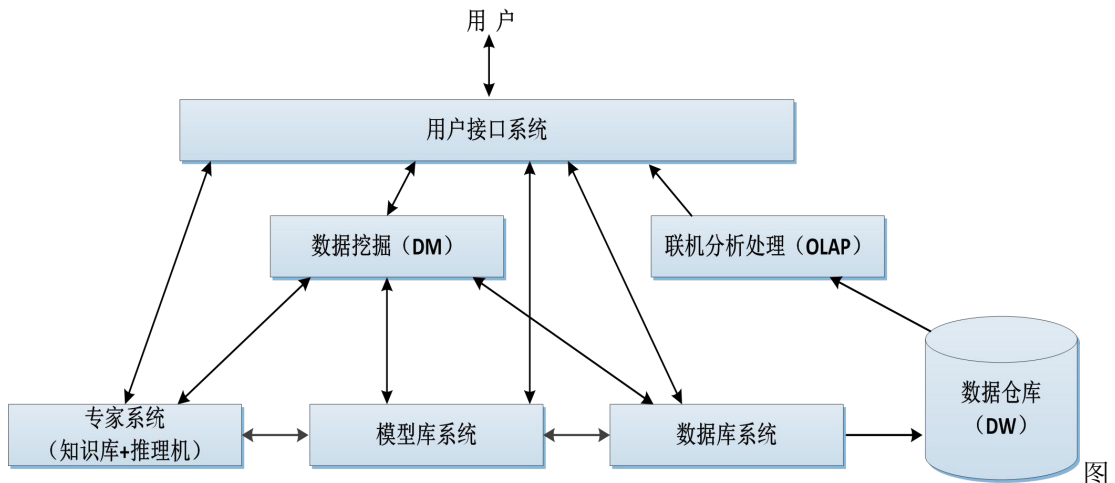


图 4.3.5 NDSS 基本结构框图

4.3.6 SDSS 由三个主体组成，参考图 4.3.6：

- (1) 模型库系统和数据库系统结合的主体，完成多模型的组合与大量共享数据的处理，利用模型资源辅助决策；
- (2) 数据仓库与联机分析处理结合的主体，完成对数据仓库中数据的综合、预测和多维数据分析，利用数据资源辅助决策；
- (3) 知识库系统与数据挖掘技术结合的主体，完成知识推理，利用知识资源辅助决策。



4.3.6 SDSS 基本结构框图

4.3.7 网络环境的 DSS，其数据仓库、模型资源与知识资源都以服务器形式在网络上提供并发、共享模型服务与知识服务，例如模型服务器、知识服务器、数据库服务器、OLAP

与数据挖掘服务器、数据仓库服务器等。

#### 4.4 DSS 技术要求

4.4.1 DSS 应执行简单、适应性强，用户接口快捷、友好。

4.4.2 针对设备与系统的报警/预警信息，以及故障/失效当前信息与预测信息，DSS 输出危害源及其影响、危害原因、推荐措施及其备选方案（按照推荐等级排序）、依据与解释等信息。或者为优化设备与系统的运行状态，DSS 给出操作、维护等优化建议。

4.4.3 针对视情维护系统，推荐的维修方案应基于设备或部件的危险程度、运行成本、维修成本、备件的可利用性和其他因素。

4.4.4 计算机 DSS 至少满足以下要求：

- (1) 自学习/自我完善；
- (2) 用户接口系统应具备人机交互功能；
- (3) 存储问题求解所需要的知识，重要的问题上充分完备；
- (4) 充足的数据库/数据仓库容量；
- (5) 对于 IDSS，应提供知识获取、机器学习以及知识库的修改、扩充和完善等维护手段；
- (6) 系统按照时序自动记录、备份决策建议的采纳、执行、纠错与人工补充（如有时）等情况信息，必要时，船端系统操作人员可协助完成此工作。

4.4.5 人工 DSS 应对设备与系统提供持续、全功能的辅助决策，每月至少出具一份详尽的决策建议或报告。

4.4.6 船公司针对人工 DSS 的使用情况，定期出具使用情况的反馈报告，包括决策建议的采纳、执行、纠错等信息。

## 第 5 章 视情维护系统与体系要求

### 5.1 适用范围

5.1.1 本章适用于申请设备与系统视情维护方案认可的船舶。

5.1.2 视情维护方案适用于本指南附录 1 中覆盖的设备与系统，以及船东要求的其他设备或系统。

### 5.2 CBM 系统组成与功能

5.2.1 CBM 系统构建在 MCM&HAS（详见本指南第 3 章）的基础上，结合 DSS（详见本指南第 4 章）给出的维修决策建议，有针对性地制定合理、有效的设备与系统维护方案。

5.2.2 CBM 系统是通过设备与系统工作状态和工作环境的实时监测，借助人工智能等先进方法，诊断和预测设备未来的有效工作周期，合理安排设备未来的维修调度时间。一个完整的 CBM 系统结构应当包括从数据采集到具体维修方案等一系列功能，CBM 系统的主要功能包括：

- (1) 感知和数据获取；
- (2) 数据处理和特征提取、预警；
- (3) 失效/故障诊断；
- (4) 状态监测；
- (5) 预测未来健康概况和失效形式等；
- (6) 维修方案，或为特定运行环境中设备可用性的评价；
- (7) 对历史数据存储和存取管理；
- (8) 系统配置管理；
- (9) 人机交互；
- (10) 船岸端之间安全、可靠的双向数据交换；
- (11) 系统按照时序自动记录、备份 CBM 方案的采纳、执行、纠错与人工补充（如有时）等情况信息，必要时，船端系统操作人员可协助完成此工作。

5.2.3 CBM 系统必须确保提高维修性、安全性，并在全生命周期内降低关键系统/过程的

使用与保障成本。

5.2.4 CBM 系统的结构应设计成开放式的，在当外部系统或子系统与部件更改、升级、置换时，应便于使用，同时系统/过程的接口变更尽可能少。

5.2.5 CBM 系统的可靠性、可用性、维修性与耐用性需求须得到满足。

5.2.6 CBM 系统的知识库主要来自设计（系统的初始数据和信息以及它的组件）和运营（包含运行数据记录、维修历史、材料消耗历史）。

### 5.3 对管理视情维护系统机构和人员的要求

5.3.1 申请实施设备 CBM 系统的管理方，应设立主管 CBM 系统与体系的专门机构，该机构可由机务部兼任，也可以是专门部门，无论如何应有专人负责。此外，该机构负责制定 CBM 系统的各项文件、CBM 系统的日常管理；该机构应根据设备制造厂说明书的规定，列出实施 CBM 方案的设备清单；

5.3.2 岸端应建立查看、备份状态监测与诊断的数据、评估报告、CBM 等资料与信息机制，如服务器、管理系统等。

5.3.3 视情维护系统的管理方应建立设备与系统视情维护质量管理体系，应符合 ISO 9000 系列质量管理体系认证标准或等效标准，以及 ISM 规则和 IACS 的相关要求，质量管理体系至少包括以下内容：

- (1) 实施视情维护的专门机构的岗位职能和权限；
- (2) 视情维护工作程序、日常管理、文件管理等；
- (3) 实施视情维护的人员管理，包括资质与培训管理等；
- (4) 实施视情维护的设备与系统及其部件清单与说明；
- (5) 视情维护方案，以及当视情维护无法实施时的备用维护方案；
- (6) 视情维护工程管理，包括维护标准、检验与质量控制等；
- (7) 持续分析与监督方案；
- (8) 过程记录的内容和间隔周期；
- (9) 维修保障，包括备品/备件、技术支持等；
- (10) 质量管理体系内审、纠错、改进程序。

5.3.4 视情维护系统的管理方应提供实施视情维护所必需的人员培训、备品/备件供应、

维护设备与工具等管理与技术保障。

5.3.5 所有涉及视情维护的人员应接受足够的培训且能够胜任。轮机长是船上实施 CBM 系统的责任人，负责安排 CBM 方案的执行，并保存必要的维护和测量记录，负责检查或确认、签署相关的检修报告。只允许轮机长或其他授权的人员访问 CBM 系统，以更新维修文件和维修方案。

轮机长应至少每季度将该季度内每个月的 CBM 执行情况报公司主管机构，主管机构负责汇总和管理。

#### **5.4 对提供状态监测与健康评估服务供方的要求**

5.4.1 提供状态监测与健康评估服务供方应按 CCS《供方认可及人员资格管理指南》的要求进行认可。

#### **5.5 对系统/产品的要求**

5.5.1 基于 CCS 规范及所接受标准中关于计算机系统定义的广泛性，本指南所涉及的系统/产品虽复杂程度各不相同，但除个别设备外，均可归类为计算机系统。

5.5.2 本指南所涉及的计算机系统/产品按照《钢质海船入级规范》第 7 篇第 2 章第六节关于计算机系统分类的规定，应为类别 II 设备，即这些系统的故障最终会对人员的安全、船舶的安全以及环境产生危害。

5.5.3 本指南所涉及的系统/产品软件符合 CCS《船用软件安全及可靠性评估指南》对计算机系统的要求。

##### **5.5.4 系统独立性要求：**

- (1) CBM 系统应设计成或使其模块和功能相互独立，当其中的某一或多个系统和模块发生故障时，应不影响其他系统的正常工作；
- (2) CBM 系统不同子系统也应各自独立。当其中某一子系统发生故障时应不妨碍另一子系统的正常工作。

##### **5.5.5 系统故障安全要求：**

- (1) CBM 系统应按故障安全原则设计。故障安全原则不仅应考虑 CBM 系统本身以

及与之有关的设备与系统，而且对船上其余设备与系统，以及船舶和人员的安全不应造成危害；

- (2) CBM 系统的设计，应能使运行过程中出现的一个故障不会导致其他故障的产生，并且其产生的危险性降到尽可能低的程度；
- (3) CBM 系统应确保持续、有效、可靠地运行、更新与维护。

#### 5.5.6 系统冗余设计：

- (1) CBM 系统采用双套电源，其中当主电源发生故障后，备用电源会立即承担所有的负载；
- (2) 当系统或其模块发生故障时，冗余配置的部件介入并承担故障部件的工作，由此减少系统的故障时间。

## 第 6 章 图纸与资料审查要求

### 6.1 审查依据

6.1.1 CCS《钢质海船入级规范》第 7 篇。

6.1.2 CCS《智能船舶规范》第 4 章以及本指南。

### 6.2 图纸资料

6.2.1 申请智能机舱功能标志、CBM (X) 附加标志的船舶，应提交表 6.2.1 适用的图纸资料。

图纸资料清单及要求

表 6.2.1

序号	图纸资料	主要内容	提交阶段	具体要求
1	智能机舱系统图	包括系统供电、输入输出信号线路等	S	A
2	智能机舱系统主要设备船上安装布置图	组成系统的传感器、数据采集装置、服务器等主要设备在船上的安装及布置	S	N
3	监测的设备清单及说明	(1) 被监测设备清单、健康状态描述方法、可诊断的故障/失效等； (2) 监测参数及其工作范围，如温度、压力、流量、振动等； (3) 监测方案，包括监测装置/传感器等； (4) 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； (5) 状态分析/评估方法，包括原理描述、实例、验证方案、技术指标等； (6) 评估衡准，包括健康评估指标、故障/失效诊断指标等。	P/S	A
4	智能机舱系统有关的详细资料	(1) 系统原理、功能及使用维护说明，包括状态监测系统网络结构、状态监测系统通信、数据库设计等； (2) 系统硬件说明，如传感器、数据采集装置、数据存储/备份装置等； (3) 软件说明，如数据处理与分析方法、故障诊断方法、状态评	P	A

		估方法等。 (4) 输出数据/信息的种类和内容。		
5	视情维护实施相关资料 (适用于 Mx 功能标志)	(1) 纳入视情维护系统的设备及部件清单及说明; (2) 视情维护内容与计划; (3) 视情维护计划制定与实施程序。	S	A
6	测量/获得健康评估衡准的详细方案	包括测量/获得衡准数据的方法、建立有效衡准的计划、评估衡准有效性的方法等	P	A
7	型式试验大纲	包括试验台架、测试设备、试验项目、试验方法、试验结果判定等	检验单位	A
8	风险分析报告	按 CCS《智能船舶规范》第 4 章 4.1.6 的规定, 状态监测范围与规范规定存在差别时, 可依据风险分析的结果确定状态监测范围及监测目的	P	N
9	操作手册	按 CCS《智能船舶规范》第 1 章 1.9 的规定, 操作手册至少考虑如下几个方面的内容: (1) 系统操作、检查、测试、维护有关的程序与说明; (2) 系统运行有关的工作条件和限制条件; (3) 应急程序。	P	N
10	程序和计划	(1) 船上试验程序, 包括测试方案、技术指标、航行试验大纲等; (2) 数据收集程序和计划, 包括实时连续/周期数据采集、人员安排 (如适用)、采样频率、采样时长、数据采集工况/条件、相关实施记录等; (3) 数据存储/备份程序和计划, 包括实时/周期存储/备份机制、时长、人员安排 (如适用)、相关实施记录等; (4) 数据分析的程序和计划, 包括监测数据处理、实时/周期分析机制、人员安排 (如适用)、相关实施记录等; (5) 评估结果/报告输出, 包括定期/周期输出机制、输出格式、人员安排 (如适用)、相关实施记录等; (6) 监测装置的校准程序和计划, 包括定期校准机制、校准方法、人员安排、相关实施记录等。	S (其中 (1) 送检验单位)	A
11	智能机舱系统说明书	包括系统功能、软硬件、安装要求等说明	S	N
12	公司相关资料	(1) 公司相关岗位 (职责) 结构框图; (2) 工作流程, 包括目标、方法和策略; (3) 执行辅助决策和视情维护相关人员的培训计划和资格要求。	检验单位	N

符号说明:

1) 提交阶段: P — 产品审图阶段, S — 船舶审图阶段;

2) 具体要求: A 一提交批准, N 一提交备查。

## 第 7 章 系统认可与试验技术要求

### 7.1 适用范围

7.1.1 本章适用于设备与系统状态监测与健康评估系统（MCM&HAS）、辅助决策系统（DSS）、视情维护（CBM）系统的认可与试验工作。

### 7.2 认可/检验依据

7.2.1 CCS《钢质海船入级规范》第 1 篇第 3 章，第 7 篇第 1、2、3 章；

7.2.2 CCS《智能船舶规范》第 1、4 章；

### 7.3 典型样品的选择

7.3.1 试验样品的选取应具有技术代表性，且能覆盖申请型式认可的产品范围。

7.3.2 对于产品的主要元器件（如计算机、显示器等）来自不同的制造方，我社可考虑按照上述原则，分别抽取样品进行型式试验（船用环境试验、电磁兼容试验）。

### 7.4 产品持证要求

7.4.1 智能机舱系统及其部件的持证应符合《智能船舶规范》第 1 章 1.10.1 的有关规定。

### 7.5 型式认可

7.5.1 产品型式试验大纲应事先提交验船师审批，试验大纲包括编写依据、试验项目、样品的选取、试验地点等内容。试验机构及其测试能力应经 CCS 认可，认可的要求可参照 CCS GD08-2015《船用产品试验检测机构认可指南》。

7.5.2 产品的型式试验应包含表 7.5.2 中所列试验项目。

型式试验项目

表 7.5.2

序号	试验项目	试验结果要求	备注
1	外观标识及完整性检查	确认产品外观应无损伤，标识清晰，产品各个模块齐全	
2	功能试验	详见表 7.5.3	
3	船用环境试验	CCS《电气电子产品型式认可试验指南》	
4	电磁兼容试验	CCS《电气电子产品型式认可试验指南》	

7.5.3 功能试验应能确认系统符合批准图纸/资料和本指南对系统的技术要求。产品的功能试验应包括表 7.5.3 的内容。

具体试验方法应结合经 CCS 审批的产品技术文件（技术条件、说明书等）的内容制定。辅助决策功能和视情维护功能可借助环境仿真的方式进行验证，测试方案应经验船师确认。

功能试验项目

表 7.5.3

序号	试验项目	试验结果要求	备注
通用功能			
1	防篡改功能	系统应有保护措施，防止操作者无意或未经授权而对程序进行修改。	
2	数据通信故障报警功能	系统应能对通信线路连续进行自检，一旦出现不正常情况应发出报警。	
3	电源切换功能	系统应能在正常供电失电时自动转接到备用电源。该备用电源可采用蓄电池组，其容量应至少维持 30min 供电的需要。	
4	电源故障报警	系统电源故障时应发出视觉、听觉报警。	
状态监测与健康评估功能			
5	数据采集功能检查	应能对机舱主要设备与系统的运行状态进行监测，获得的数据应与实际输入的原始数据一致。	向各类数据采集接口接入对应的标准信号（如电流信号、电压信号、串口信号等），观察系统的数据显示。同类型的数据采集接口，如数量较多时，可采用抽样方式验证。
6	信号丢失报警功能	需要采集的信号丢失，系统应能发出报警。	
7	监测参数格式检查	监测参数的记录至少应包括如下信息： (1) 描述设备与系统的基本数	

		据； (2) 测量位置； (3) 测量数据的处理方法； (4) 日期和时间信息。	
9	基准数据的记录功能	应能记录在设备与系统处于初始状态条件下测量或获得状态监测的基准数据。	
10	船岸通讯功能检查	如采用岸基支持的方法对设备进行视情维护或辅助决策功能,应确认船岸数据通信的有效性。	
11	数据存储功能检查	测量的数据应能以标准的格式予以记录,并定期存储;可以从存储数据中查询历史数据,数据内容应与原始输入数据一致。	
12	数据库备份能力检查	应设有数据库备份需要的设施,且验证有效。	
13	状态监测数据的趋势分析	应能执行数据趋势分析,并直观显示分析结果。	
14	分析与评估功能	应能够输出设备与系统运行状态和健康状况的分析与评估报告。考察虚警率和漏警率满足本指南的要求。(虚警率和漏警率均不高于 30%)。	可借助数据仿真的方式进行此项试验,评估的结果应与仿真的环境一致。至少模拟 10 个故障。
辅助决策功能			
15	知识库功能	应建立知识库,知识库应能随着运行经验的积累、知识的更新,予以不断地更新和完善。	
16	辅助决策输出功能	应能够输出与上述分析与评估报告对应的决策建议。	
17	历史数据查询功能	应能方便地进行历史数据查询,并能输出检验需要的相关记录。	
视情维护功能			
18	视情维护计划制定功能	应能基于设备与系统及其部件的健康评估结果,制定监测设备及部件的视情维护方案。	
19	视情维护计划的更新功能	应能基于状态监测信息不断更新维护方案。	
20	生成记录功能	应能够生成两个记录:执行视情维护设备的检查项目清单;视情维护服务、检查和故障修理记录。	
21	历史数据查询功能	视情维护计划的历史数据应能进行查询。	

7.5.4 产品的软件应依据 CCS《船用软件安全及可靠性评估指南》按照 II 类系统进行软

件评估，并满足该标准的要求。

7.5.5 产品的网络系统，应依据 CCS《船舶网络系统要求及安全评估指南》进行评估，并满足该标准的要求。

## 7.6 单件/单批检验

7.6.1 经型式认可后，CCS 验船师应逐台进行产品检验。

7.6.2 产品单件/单批检验应按照表 7.6.2 所列试验项目进行。

单件/单批试验项目

表 7.6.2

序号	试验项目	试验结果要求	备注
1	外观标识及完整性检查	确认产品外观应无损伤，标识清晰，产品各个模块齐全。	
2	传感器资料核查	通过证书/证明核查，确认传感器的精度应满足系统的要求。	
2	绝缘电阻测量	CCS《电气电子产品型式认可试验指南》第 2.3 条。	
3	耐电压试验	CCS《电气电子产品型式认可试验指南》第 2.14 条。	
4	功能试验	应包含表 7.5.3 中的适用试验项目： (1) 状态监测与健康评估系统 (MCM&HAS)：应进行项目 1~14； (2) 辅助决策系统 (DSS)：应进行项目 1~17； (3) 视情维护 (CBM) 系统：应进行项目 1~21。	

## 第 8 章 附加标志检验

### 8.1 适用范围

8.1.1 适用于申请 M、M<sub>x</sub>、CBM (X) 附加标志的船舶。

### 8.2 资料批准

8.2.1 满足 CCS《智能船舶规范》第 4 章 4.3 图纸资料提交要求及本指南第 6 章第 6.2 图纸、文件清单的相关要求。

### 8.3 船上资料

8.3.1 船上应保存如下资料：

- (1) CCS《智能船舶规范》第 4 章 4.3 提及的相关图纸资料；
- (2) 自上一次检验以来，与附加标志相关的记录，如设备拆检、维护保养、修理或更换记录等；
- (3) 本指南附加标志相关系统的认可证书；
- (4) 自上一次检验以来，被监测机械的所有监测数据（包括原始基准数据）及报警记录；
- (5) 申请 CCS 智能机舱 M 附加标志的船舶，除保存上述（1）~（4）资料外，还应保存辅助决策建议采纳与反馈记录、辅助决策的纠错记录、知识的增改记录等资料；
- (6) 申请 CCS 智能机舱 M<sub>x</sub> 及 CBM (X) 附加标志的船舶，除保存上述（1）~（4）资料外，还应保存视情维护方案的执行记录和反馈建议记录等资料；
- (7) 智能机舱的服务供方提供的评估报告（如有时）；
- (8) 监测设备/传感器的校准记录/证书；
- (9) 程序和计划规定的其他记录。

## 8.4 检验与试验

8.4.1 满足 CCS《智能船舶规范》第 4 章 4.5 关于检验与试验的相关要求。

8.4.2 船上应保存的试验程序至少包括系统完整性检查、功能检查、通信检查等项目。

8.4.3 申请智能机舱附加标志和/或 CBM (X) 附加标志的检验应与初次入级、年度、中间和特别检验同时进行，并检查船上备有本章 8.3 要求文件资料。对于初次授予 CCS 智能机舱附加标志和/或 CBM (X) 附加标志的船舶，应按 CCS《智能船舶规范》第 1 章 1.4.6 的规定进行实施检验。

8.4.4 如发生变更、损坏和故障等影响附加标志保持的情况，船东应及时通知 CCS，并申请临时检验。船舶的买卖、管理公司的变更或者转级，应当对船舶的视情维护系统和体系重新进行认可。任何被替换下来的机械部件，应保存在船上，供验船师检查。

8.4.5 智能机舱相关系统及设备船上安装完成后，应按 CCS《智能船舶规范》第 4 章 4.5.1 的要求进行初次检验，并通过试验验证其功能有效性，功能试验一般应包括表 8.4.5 的内容。

初次检验试验项目表

表 8.4.5

序号	试验项目	试验结果要求	备注
通用功能			
1	数据通信功能	确认数据通信的有效性。	
2	数据通信故障报警功能	确认系统能对通信线路连续进行自检，一旦出现不正常情况应发出报警。	
3	电源切换功能	确认系统能在正常供电失电时自动转接到备用电源。	
4	电源故障报警	确认系统电源故障时能发出视觉、听觉报警。	
状态监测与健康评估功能			
5	数据采集功能检查	按批准的监测设备及参数清单检查采集数据的完整性、准确性、有效性。	
6	信号丢失报警功能	检查采集信号丢失时，系统能发出报警。	
7	基准数据的记录功能	确认系统能测量或获得状态监测的基准数据。	
8	船岸通讯功能检查	如采用岸基支持的方法对设备进行视情维护或辅助决策功能，应确认船岸数据通信的有效性。	
9	数据存储功能检查	确认系统测量的数据能按规定的程序和计划存储，数据内容与原始输入数据一致。	
10	数据库备份能力检查	确认系统设有数据库备份需要的设施，且能按规定的程序和计划备份。	
11	状态监测数据的趋势分析	检查系统能执行数据趋势分析，并直观显示分析结果。	
12	分析与评估结果输出功能	检查系统应能按规定的程序和计划输出设备与系统	

		运行状态和健康状况的分析与评估报告。	
13	历史数据查询功能	检查系统能方便地查新历史数据和信息。	
辅助决策功能			
14	辅助决策输出功能	检查系统能输出与上述分析与评估报告对应的决策建议。	
视情维护功能（适用于 Mx 补充功能标志或 CBM（X）附加标志）			
15	视情维护计划制定功能	检查系统能基于设备与系统及其部件的健康评估结果，制定监测设备及部件的视情维护方案。	
16	生成记录功能	检查系统能生成两个记录：执行视情维护设备与系统的检查项目清单；视情维护服务、检查和故障修理记录。	

8.4.6 船上进行年度和中间检验应至少满足 CCS《智能船舶规范》第 4 章 4.5.2 建造后检验的相关要求，检验要求如下：

- (1) 船东或船舶管理公司应向 CCS 执行检验单位提交一份关于 M、和/或 Mx、和/或 CBM（X）附加标志的年度报告，该报告至少应包括自上次年度检验以来的系统维护记录、总体运行情况记录、被监测设备与系统的故障/失效情况、原因分析、设备更换情况、换新后设备与系统的运行和维护记录；
- (2) 检查系统的详细工作记录；
- (3) 确认系统的历史数据、趋势分析数据、滑油分析报告、振动分析报告和上一年度的系统运行分析报告；
- (4) 确认操作人员熟悉系统的运行及执行情况；
- (5) 检查和确认系统的状态监测传感器等相关仪器和仪表按照本指南第 2 章的相关要求进行校准；
- (6) 检查船上应保存的试验程序，试验程序至少包括系统完整性检查、功能检查、通信检查等项目；
- (7) 如船东或船舶管理公司委托第三方提交系统的年度评估报告，需提交能够满足经 CCS 认可的状态监测系统与健康评估系统的认可证书；便携式状态监测设备根据认可的国际和国家标准进行维护和校准，以确保读取数据的准确性并提交校准证书的复印件；用于危险区域的便携式设备应满足船舶危险区域划分的要求；验船师应检查系统的控制、报警和安装符合设备制造厂的说明书及我社规范和指南的相应规定。

8.4.7 附加标志的特别检验除满足上述检验和试验要求之外，还需要进行如下检验：

- (1) 验船师需要核查船舶状态监测及健康评估系统自上次初次/特别检验以来特别检验周期内进行维护、检查、保养的记录；
- (2) 基于特别检验周期内系统运行状况更新维护计划并得到批准。

8.4.8 船舶状态监测及健康评估系统应按照规定的检验间隔期进行维护、检查、保养和数据的收集；基于状态监测的诊断信息不断地更新维护计划；船舶状态监测及健康评估系统能够输出包括系统测试信息、状态监测及诊断信息，以便于接受检查、检验结果和输出状态监测数据。

## 附录 1 设备与系统状态监测项目表

说明：

(1) 本附录列出了船上主要的设备与系统、典型的故障/失效、以及可能用于状态监测的参数信息，仅为用户提供参考；

(2) 申请智能机舱功能标志的船舶，监测的设备与系统范围至少应满足 CCS《智能船舶规范》第 4 章的要求。

序号	设备/性能	主要监测参数	典型故障/失效
1	主推进柴油机		
1.1	燃烧状态	单缸动态压力、单缸排烟温度、单缸冷却水出口温度、振动	(1) 排烟温度异常； (2) 输出功率不足； (3) 熄火、爆震、燃烧不稳定等（气体燃料发动机）。
1.2	气缸盖	冷却水温度、冷却水压力	(1) 缸盖、阀孔周围各连接凸缘裂纹、烧蚀等缺陷； (2) 冷却水腔积垢及腐蚀。
1.3	活塞	冷却液温度、活塞图像（二冲程柴油机）、气缸油参数	筒式活塞： (1) 活塞头部、活塞环槽、活塞销孔周围、裙部等处裂纹、烧蚀。 十字头式发动机活塞： (1) 活塞头部、活塞环槽、耐磨环裂纹、烧蚀、过度磨损、松脱等； (2) 冷却腔积垢。
1.4	活塞环（如适用）	振动、温度、活塞环图像（二冲程柴油机）、气缸油参数	(1) 磨损、窜气、变形、挫伤、断裂、咬死、窜油等。
1.5	连杆	振动、应力（如适用）	(1) 连杆裂纹； (2) 螺栓裂纹、变形、松动、滑丝等。
1.6	活塞杆填料函	振动、温度	(1) 偏心； (2) 刮油环、密封环磨损、窜气等。
1.7	气缸套	温度、冷却水压力、气缸油参数	(1) 裂纹、擦伤和过度磨损等。
1.8	进气阀 排气阀 安全阀 示功阀 启动阀	振动、温度、压力	(1) 阀壳、阀芯及弹簧裂纹，阀与阀座工作面接触不良。
1.9	燃料喷嘴/阀	排气温度、振动	(1) 脏堵、磨损、泄漏、雾化不良。
1.10	十字头轴承（如适用）	滑油温度	(1) 十字头销裂纹、擦伤等； (2) 十字头销轴承、导板白合金裂纹、过热、擦伤、脱壳，接触不良。
1.11	连杆轴承	振动、温度、轴承磨	(1) 裂纹、脱壳、过热、擦伤、脱落、磨损等；

序号	设备/性能	主要监测参数	典型故障/失效
		损量	(2) 轴承间隙异常。
1.12	进气阀传动机构 排气阀传动机构	振动	(1) 滚轮间隙异常。
1.13	机架与机座	振动	(1) 裂纹、变形、损伤、腐蚀等； (2) 连接螺栓断裂、松动等。
1.14	曲柄箱及安全装置（如适用）	油雾浓度、曲轴箱压力	(1) 爆炸。
1.15	曲柄销轴承（如适用）	滑油温度、轴承磨损量	(1) 裂纹、脱壳、过热、擦伤、脱落、磨损等； (2) 轴承间隙异常。
1.16	底脚螺栓与垫块	振动	(1) 底脚螺栓松动、断裂等； (2) 垫块松动。
1.17	主轴承及轴颈	振动、滑油温度、轴承磨损量	(1) 轴承裂纹、脱壳、过热、擦伤、磨损； (2) 轴承颈擦伤、蚀坑； (3) 轴承轴瓦烧蚀、磨损等。
1.18	曲轴传动机构	振动	(1) 齿轮传动机构：齿轮裂纹、剥蚀、崩缺、过度磨损、齿轮啮合不当； (2) 链传动机构：链节及滚柱裂纹、剥蚀、磨损。
1.19	凸轮轴（如适用）、凸轮轴轴承（如适用）	振动、温度、轴承磨损量	(1) 凸轮松动； (2) 凸轮表面裂纹、蚀坑、擦伤、过度磨损。
1.20	扫气鼓风机、应急空气鼓风机	振动、温度、流量、压力	(1) 振动异常； (2) 轴承温度过高； (3) 电动机电流过大、温升过高； (4) 皮带跳动、滑落。
1.21	扫气泵	振动、温度、压力、流量	(1) 活塞式扫气泵：活塞、活塞杆、缸套、进气阀、排气阀裂纹、擦伤、过度磨损； (2) 旋转式扫气泵：泵壳、叶轮或齿轮、轴、轴承及其传动装置的部件裂纹、变形、过度磨损等。
1.22	高压油泵	振动、温度、压力、流量	(1) 油泵弹簧裂纹、变形等缺陷； (2) 柱塞/套筒等精密构件间隙过大，或卡阻。
1.23	废气涡轮增压器（如适用）	转速、压力、振动、温度、进出口压差	(1) 壳体裂纹、冷却水腔积垢及腐蚀； (2) 转子、叶片、导叶轮、扩散器裂纹、弯曲、变形、崩缺、腐蚀等缺陷； (3) 轴承缺陷。
1.24	空气冷却器	温度、压力、压差	(1) 管子或管板变形、损坏、积垢、腐蚀、密封不良等； (2) 防腐锌块缺陷。

序号	设备/性能	主要监测参数	典型故障/失效
1.25	贯穿螺栓	振动	(1) 松脱、断裂。
1.26	振动阻尼器或减振器	振动	(1) 柔性底座：减振橡皮及弹簧损坏； (2) 平衡块减振器：平衡块或螺栓松动； (3) 液压弹簧式减振器：弹簧组件失效，定位限制销松动、油孔堵塞。
1.27	扫气箱和安全装置	温度、压力	(1) 扫气箱内部或总管脏堵； (2) 应急灭火装置喷头堵塞； (3) 扫气箱防爆门和阀件失效。
1.28	换向装置	振动	(1) 换向凸轮、换向阀、换向伺服器等部件失效。
1.29	转车装置(盘车机)	振动	(1) 蜗轮、蜗杆磨损； (2) 转车机与联锁阀的失效； (3) 电动机与转车机的联轴器失效。
1.30	机带空气压缩机	振动、压力、温度	机带空气压缩机： (1) 阀孔、水孔脏堵； (2) 冷却水腔积垢、锈蚀； (3) 曲轴颈及轴承过度磨损； (4) 润滑不良； (5) 管路脏堵、密封不良。
1.31	机带舱底水泵	振动、温度、压力、流量	
1.32	机带柴油增压泵	振动、温度、压力、流量	
1.33	机带燃油增压泵	振动、温度、压力、流量	
1.34	机带柴油输送泵	振动、温度、压力、流量	
1.35	机带燃油输送泵	振动、温度、压力、流量	
1.36	机带淡水泵	振动、温度、压力、流量	
1.37	机带淡水冷却泵	振动、温度、压力、流量	
1.38	机带油头冷却泵	振动、温度、压力、流量	
1.39	机带滑油泵	振动、温度、压力、流量	机带泵为旋转泵： (1) 机带传动机构失效； (2) 外壳、叶轮或齿轮或蜗杆、轴承、轴、轴封及其部件裂纹、变形、过度磨损。
1.40	机带减速装置滑油泵	振动、温度、压力、流量	
1.41	机带海水循环	振动、温度、压力、	

序号	设备/性能	主要监测参数	典型故障/失效
	泵	流量	
1.42	机带海水冷却泵	振动、温度、压力、流量	
1.43	机带淡水冷却器	温度、压力	(1) 海水腔、淡水腔脏堵； (2) 泄漏。
1.44	机带滑油冷却器	温度、压力	(1) 海水腔脏堵； (2) 泄漏。
1.45	启动空气系统的部分管路	压力	(1) 腐蚀、损坏、泄漏； (2) 密封不良。
1.46	曲轴	振动、温度、压力	(1) 曲轴颈擦伤、蚀坑、机械损伤、磨损； (2) 曲轴缸套或压力配合处松弛或位移； (3) 圆角及油孔裂纹。
1.47	引燃油喷嘴(双燃料发动机)	排气温度、喷油压力、喷油温度	脏堵、雾化不良、引燃能力不足
1.48	点火装置(单气体燃料发动机)	电压	点火能力不足
1.49	曲轴箱(适用于筒形活塞式气体燃料发动机)	可燃气体浓度、曲轴箱压力	可燃气体泄漏
1.50	活塞下部空间(二冲程气体燃料发动机)(如适用)	可燃气体浓度、活塞下部空间压力	可燃气体泄漏
2	发电柴油机		
2.1	增压器	转速、进口排烟温度、出口排烟温度、润滑油进口压力、润滑油出口温度、进口空气温度、进口空气滤网压差	(1) 壳体裂纹、冷却水腔积垢及腐蚀； (2) 转子、叶片、导叶轮、扩散器裂纹、弯曲、变形、崩缺、腐蚀等缺陷； (3) 轴承缺陷。
2.2	燃料喷嘴/阀	排气温度、振动	(1) 脏堵、磨损、泄漏、雾化不良。
2.3	气缸套	温度、冷却水压力	(1) 裂纹、擦伤和过度磨损等。
2.4	气缸盖	冷却水温度、冷却水压力	(1) 缸盖、阀孔周围各连接凸缘裂纹、烧蚀等缺陷； (2) 冷却水腔积垢及腐蚀。
2.5	进气阀、排气阀	振动、温度、压力	(1) 阀壳、阀芯及弹簧裂纹，阀与阀座工作面接触不良。

序号	设备/性能	主要监测参数	典型故障/失效
2.6	主轴承	温度、滑油出口温度、轴承磨损传感器；（能够获得轴承磨损量）	(1) 轴承裂纹、脱壳、过热、擦伤、磨损； (2) 轴承颈擦伤、蚀坑； (3) 轴承轴瓦烧蚀、磨损等。
2.7	曲柄销轴承	滑油温度	(1) 裂纹、脱壳、过热、擦伤、脱落、磨损等； (2) 轴承间隙异常。
2.8	凸轮轴轴承(如适用)	滑油进凸轮轴压力、滑油进凸轮轴温度	(1) 凸轮松动； (2) 凸轮表面裂纹、蚀坑、擦伤、过度磨损。
2.9	空气冷却器	空气进口温度、空气出口温度、空气进出口压差、冷却水进口温度、冷却水出口温度、冷却水进口压力、冷却水进出口压差（或出口压力）	(1) 管子、管板变形、损坏、积垢、腐蚀、泄漏等； (2) 防腐锌块缺陷。
2.10	燃烧室	单缸动态压力、单缸排烟温度、单缸冷却水出口温度、振动	(1) 积碳； (2) 低温腐蚀、高温腐蚀； (3) 熄火、爆震、燃烧不稳定等（气体燃料发动机）。
2.11	燃油	进机压力、燃油进机温度/粘度（喷油泵前）、共轨燃油压力（如适用）、共轨伺服油压力（如适用）	(1) 压力异常； (2) 温度异常； (3) 粘度异常。
2.12	润滑油	进机压力、进机温度	(1) 压力异常； (2) 温度异常。
2.13	冷却水	进机压力或流量、进机温度	(1) 压力异常； (2) 温度异常； (3) 流量异常。
2.14	空气	启动空气压力、控制空气压力	(1) 压力异常。
2.15	滑油冷却器	温度、压差、压力	(1) 管子或管板变形、损坏、积垢、腐蚀，泄漏等；
2.16	引燃油喷嘴(双燃料发动机)	排气温度、喷油压力、喷油温度	脏堵、雾化不良、引燃能力不足
2.17	点火装置(单气体燃料发动机)	电压	点火能力不足
2.18	曲轴箱(适用于筒形活塞式气	可燃气体浓度、曲轴箱压力	可燃气体泄漏

序号	设备/性能	主要监测参数	典型故障/失效
	体燃料发动机)		
2.19	活塞下部空间 (适用于十字头 式气体燃料发 动机)	可燃气体浓度、活塞 下部空间压力	可燃气体泄漏
3	轴系		
3.1	中间轴及轴承 (如适用)	振动、温度	(1) 轴磨损、裂纹、高温、对中不良等； (2) 轴承高温、裂纹等； (3) 轴瓦烧蚀、磨损等； (4) 润滑不良； (5) 轴承座松动。
3.2	推力轴及轴承	振动、温度	(1) 轴磨损、裂纹、高温、对中不良等； (2) 轴承高温、裂纹等； (3) 轴瓦烧蚀、磨损等； (4) 润滑不良； (5) 推力块自合金磨损、松脱； (6) 轴承壳密封不良。
3.3	艉轴和艉轴承 (如适用) <sup>①</sup>	振动、温度	(1) 轴磨损、裂纹、高温、对中不良等； (2) 轴承高温、烧蚀、磨损、裂纹等； (3) 润滑不良； (4) 轴承座松动。 (5) 轴承间隙过大。
4	辅助系统		
4.1	燃油（料）系统（包括双燃料发动机的引燃油系统）		
4.1.1	燃油（料）泵	进、出口压力	燃油（料）供应能力不足
4.1.2	滤器	前、后压力（压差）	脏堵
4.1.3	换热器（如设 有）	进出口压力、温度	换热性能差
4.1.4	通风型双层壁 气体燃料管系	通风流量/压力/流速	通风换气能力不足、气体燃料泄漏
4.1.5	惰性气体加压 型双层壁气体 燃料管系	惰性气体压力	惰化能力不足、气体燃料泄漏
4.2	滑油系统		
4.2.1	滑油泵	进、出口压力	滑油供应能力不足
4.2.2	滤器	前、后压力（压差）	脏堵

序号	设备/性能	主要监测参数	典型故障/失效
4.2.3	换热器	进出口压力、温度	换热性能差
4.2.4	滑油管系(适用于气体燃料发动机) <sup>②</sup>	可燃气体浓度	气体燃料泄漏
4.3	水润滑系统		
4.3.1	泵	供水压力、流量等	润滑水供应能力
4.3.2	滤器	滤器前后压力或压差	杂质过滤
4.3.3	换热器(如设有)	进出口温度、压力	换热性能
4.4	冷却系统		
4.4.1	泵	进、出口压力	冷却介质供应能力不足
4.4.2	滤器	前、后压力(压差)	脏堵
4.4.3	换热器	进出口压力、温度	换热性能差
4.4.4	冷却水管系(适用于气体燃料发动机) <sup>②</sup>	可燃气体浓度	气体燃料泄漏
4.5	液压(伺服)油系统		
4.5.1	液压油泵	进、出口压力	供油能力不足
4.5.2	滤器	前、后压力(压差)	脏堵
4.6	起动和控制空气系统	压力	供气能力不足
4.7	进气(四冲程)/扫气(二冲程)系统	压力、温度	增压不足、进气/扫气温度高
4.8	排气系统	背压	背压高
4.9	控制安全报警系统动力源(电力、气动、液压)	电压、气/液压力	能量供应能力不足
5	交流电力推进相关设备及系统		
5.1	发电机		
5.1.1	定子	电压、电流、温度	电流/电压谐波异常 电流/电压不平衡、绕组温度过高

序号	设备/性能	主要监测参数	典型故障/失效
5.1.2	转子(永磁电机不适用)	电流、振动	动态偏心率异常、混合偏心率异常、转子匝间短路
5.1.3	轴承	温度、振动	轴承温度过高、轴承磨损及间隙异常、振动峰-峰/振动峰值因数异常
5.1.4	励磁装置及自动电压调节器(AVR)	电压、电流	无功功率分配不均、过励、欠励
5.1.5	永磁体(永磁同步发电机适用)	电流、电压、温度	失磁现象
5.2	配电板		
5.2.1	各屏断路器	电流、温度	通断异常、开关老化、搭接点温度过高
5.2.2	母排电能质量	频率、电压	谐波异常、频率超限、相间不平衡、电压波动、过压、电压跌落
5.2.3	母排绝缘	零序电压、零序电流	单相接地、单个特定负载绝缘低
5.3	电力变压器		
5.3.1	绕组	电流、温度、阻抗、振动	相间/匝间短路、绕组温度过高、振动过大
5.4	变频器		
5.4.1	功率器件模块	电压、电流	故障停机
5.4.2	制动电阻(如适用)	温度	制动电阻温度过高
5.5	主推进电动机		
5.5.1	定子	电压、电流、温度	电流/电压谐波异常(谐波系数过大)、电流/电压不平衡、绕组温度过高
5.5.2	转子	电流、振动、温度	动态偏心率异常、混合偏心率异常、转子匝间短路、失磁现象(永磁电机)
5.5.3	轴承	温度、振动	轴承温度过高、轴承磨损及间隙异常、振动峰-峰/振动峰值因数异常
5.6	辅助系统		
5.6.1	冷却系统(水冷、风冷)	水冷: 流量、压力、温度 风冷: 风量	冷却水压力过高/低、冷却介质泄漏、冷却水温过高/低、风量不足
5.7	推进器		
5.7.1	密封装置	液位	密封不良、泄漏

序号	设备/性能	主要监测参数	典型故障/失效
5.7.2	轴承	温度、振动	轴承磨损异常
6	直流电力推进相关设备及系统		
6.1	发电机		
6.1.1	定子	电流、温度、振动	定子状态，如绕组匝间绝缘
6.1.2	转子(永磁电机不适用)	电流、温度、振动	转子状态，如转子平衡、匝间绝缘状态、偏心状态
6.1.3	轴承	温度、振动	磨损
6.1.4	励磁装置及自动电压调节器(AVR)	电压、电流	励磁及调压能力
6.1.5	永磁体(永磁同步发电机适用)	电流、电压、温度	失磁现象
6.2	配电板		
6.2.1	母排分断固态开关	电压、电流、温度、 固态开关通断指令/ 状态、动作瞬间前后 电压、电流	工作状态，如开/合闸指令、开/合闸状态、开/合闸前后电压和电流等
6.2.2	各屏断路器	电流、温度	开/合闸指令、开/合闸状态
6.2.3	母排	电压、电流、功率、 谐波、零序电压、零 序电流	电能质量(如电压偏差、电压波动与闪变、纹波、暂态压降、暂态恢复时间等) 系统绝缘状态 预充电状态(如适用)
6.2.4	抑制电容、电阻电感(如设有)	充/放电动作、温度	工作状态，如充/放电动作、温度
6.3	直流配电板至交流配电板的电力变压器		
6.3.1	绕组	温度	绕组工作状态
6.4	变流器		
6.4.1	功率器件模块	电压、电流	工作状态
6.5	主推进电动机		
6.5.1	定子	电流、温度、振动	定子状态，如绕组匝间绝缘
6.5.2	转子	电流、温度、振动	转子工作状态，如匝间状态(同步电机)、平衡状态、偏心状态、转子断条状态(异步电机)、失磁现象(永磁电机)
6.5.3	轴承	电流、温度	磨损

序号	设备/性能	主要监测参数	典型故障/失效
6.6	辅助系统		
6.6.1	冷却系统（水冷、风冷）	温度、流量	冷却性能
6.7	推进器		
6.7.1	密封装置	液位	密封
6.7.2	轴承	温度、振动	磨损
7	喷水推进系统		
7.1	喷水推进泵	转速、流量、扬程	喷水推进性能
7.1.1	叶轮	振动	叶轮工作状态，如叶轮平衡状态、磨损状态、腐蚀状态等
7.1.2	叶轮轴及轴承	振动、温度	磨损
7.2	进水管道系统		
7.2.1	进水管道	压力、振动	通流状态
7.2.2	格栅/滤网	压力、压差	杂质过滤
7.3	液压系统		
7.3.1	液压油泵	压力、流量	供油能力
7.3.2	换热器（如设有）	压力、温度	换热性能
7.3.3	滤器	压力、压差	杂质过滤
7.4	滑油系统		
7.4.1	滑油泵	压力	供油能力
7.4.2	换热器	压力、温度	换热性能
7.4.3	滤器	压力、压差	杂质过滤
7.5	控制系统动力源（电力、气动、液压）	电压、压力	能量供应能力
8	推进操纵系统		
8.1	减速、增速齿轮（如适用）	振动、温度、压力	(1) 齿轮轴磨损，轴颈拉痕； (2) 齿轮啮合不良，齿根部裂纹； (3) 齿面磨损； (4) 润滑不良； (5) 齿轮箱体泄漏、裂纹。
8.2	离合器	振动、温度、压力	(1) 接合不良，打滑等； (2) 箱体泄露；

序号	设备/性能	主要监测参数	典型故障/失效
			(3) 底脚螺栓松动。
9	重要辅助机械		
9.1	主空压机、副空压机、附属安全装置	振动、噪声、温度、压力、流量	(1) 阀孔、水孔脏堵； (2) 冷却水腔积垢、锈蚀； (3) 曲轴颈及轴承过度磨损； (4) 润滑不良； (5) 管路脏堵、密封不良。
9.2	应急空压机及气瓶	振动、噪声、温度、压力、流量	(1) 阀孔、水孔脏堵； (2) 冷却水腔积垢、锈蚀； (3) 曲轴颈及轴承过度磨损； (4) 润滑不良； (5) 管路脏堵、密封不良。
9.3	通风机组、货舱通风机、机舱通风机(包括辅机舱风机、分油机室风机)、锅炉强制通风机、泵舱风机、CO <sub>2</sub> 室风机	振动、噪声、流量、温度	(1) 噪声异常； (2) 喘振、振动异常； (3) 转子局部损坏； (4) 电流过大或温升过高； (5) 轴承磨损或温度异常。
9.4	重要的泵及电动机		
9.4.1	主海水泵及电动机	振动、噪声、温度、压力、流量	(1) 泵轴的轴封处磨损、泄漏； (2) 叶轮腐蚀、失衡； (3) 叶轮与泵壳间隙异常； (4) 叶片、齿面磨损； (5) 轴封装置磨损； (6) 轴承磨损。
9.4.2	停泊海水泵及电动机	振动、噪声、温度、压力、流量	
9.4.3	主机淡水泵及电动机	振动、噪声、温度、压力、流量	
9.4.4	停泊淡水泵及电动机	振动、噪声、温度、压力、流量	
9.4.5	锅炉给水泵及电动机	振动、噪声、温度、压力、流量	
9.4.6	锅炉循环水泵及电动机	振动、噪声、温度、压力、流量	离心泵： (1) 吸入管路锈蚀、自吸失效； (2) 叶轮、叶片空泡腐蚀。
9.4.7	废气锅炉循环水泵及电动机	振动、噪声、温度、压力、流量	齿轮泵： (1) 齿轮磨损、困油； (2) 泄漏、流量异常。
9.4.8	锅炉燃油泵及电动机	振动、噪声、温度、压力、流量	

序号	设备/性能	主要监测参数	典型故障/失效	
9.4.9	主机燃油泵及电动机	振动、噪声、温度、压力、流量	往复泵： (1) 活塞环磨损； (2) 异响、流量异常等。 螺杆泵： (1) 噪声异常、失衡； (2) 流量异常。 滑板泵（滑片泵）： (1) 滑片在滑槽中卡阻； (2) 噪声异常、流量异常。 泵的驱动电动机： (1) 绝缘电阻异常； (2) 球轴承或滚子轴承磨损。	
9.4.10	主机燃油增压泵及电动机	振动、噪声、温度、压力、流量		
9.4.11	主机滑油泵及电动机	振动、噪声、温度、压力、流量		
9.4.12	主机凸轮轴油泵及电动机	振动、噪声、温度、压力、流量		
9.4.13	消防泵及电动机	振动、噪声、温度、压力、流量		
9.4.14	应急消防泵及驱动设备	振动、噪声、温度、压力、流量		
9.4.15	压载泵及电动机	振动、噪声、温度、压力、流量		
9.4.16	舱底泵及电动机	振动、噪声、温度、压力、流量		
9.4.17	平衡泵及电动机	振动、噪声、温度、压力、流量		
9.4.18	通用泵及电动机	振动、噪声、温度、压力、流量		
9.4.19	造水机海水泵及电动机	振动、噪声、温度、压力、流量		
9.4.20	造水机凝水泵及电动机	振动、噪声、温度、压力、流量		
9.4.21	燃油驳运泵及电动机	振动、噪声、温度、压力、流量		
9.4.22	柴油驳运泵及电动机	振动、噪声、温度、压力、流量		
9.4.23	渣油泵及电动机	振动、噪声、温度、压力、流量		
9.4.24	日用淡水泵及电动机	振动、噪声、温度、压力、流量		
9.4.25	热水循环泵及电动机	振动、噪声、温度、压力、流量		喷射泵： (1) 喷嘴孔磨损； (2) 扩压管腐蚀。
9.4.26	卫生水泵及电动机	振动、噪声、温度、压力、流量		

序号	设备/性能	主要监测参数	典型故障/失效
	动机	压力、流量	
9.4.27	饮用水泵及电动机	振动、噪声、温度、压力、流量	
9.4.28	主机油头水泵及电动机	振动、噪声、温度、压力、流量	
9.4.29	主机活塞水泵及电动机	振动、噪声、温度、压力、流量	
9.4.30	淡水驳运泵及电动机	振动、噪声、温度、压力、流量	
9.4.31	造水机真空泵组	振动、噪声、温度、压力、流量	
9.4.32	造水机盐水泵及电动机	振动、噪声、温度、压力、流量	
9.4.33	空气抽逐器	振动、噪声、温度、压力、流量	
9.4.34	给水喷射泵	振动、噪声、温度、压力、流量	
9.4.35	舱底水喷射泵	振动、噪声、温度、压力、流量	
9.4.36	其他各种机带泵	振动、噪声、温度、压力、流量	
9.4.37	燃油分油机及电动机	振动、温度、压力、流量、绝缘电阻	(1) 立轴弯曲变形、磨损； (2) 轴承磨损； (3) 涡轮、蜗杆啮合不良、齿磨损； (4) 电动机绝缘电阻异常； (5) 球轴承或滚子轴承磨损、温度异常。
9.4.38	柴油分油机及电动机	振动、温度、压力、流量、绝缘电阻	
9.4.39	滑油分油机及电动机	振动、温度、压力、流量、绝缘电阻	
10	空气瓶及各种压力容器和附件		
10.1	主、辅空气瓶、工作空气瓶及其安全阀等附件	压力	(1) 阀件的气密性差； (2) 安全阀失效。
10.2	淡水压力柜、卫生水柜(海水压力柜)、饮水压	压力	(1) 泄漏。

序号	设备/性能	主要监测参数	典型故障/失效
	力柜		
11	主、辅操舵装置及其附属设备和控制系统	振动、噪声、温度、绝缘电阻	(1) 噪声、振动异常； (2) 泵与电机温度异常； (3) 主油路旁通或严重泄漏； (4) 主油路不通或舵转动受阻； (5) 转舵时间达不到规定要求； (6) 滞舵、冲舵、跑舵； (7) 舵角指示误差过大； (8) 电动机绝缘电阻异常； (9) 轴承磨损、温度异常。
12	锚机		
12.1	锚机原动机部分、驱动部分、控制设备、操纵设备、制动装置	振动、温度、绝缘电阻	(1) 锚机齿轮、链轮、刹车带（片）失效； (2) 液压油缸、转子、叶片、轴承及密封装置失效； (3) 锚机底座松动； (4) 电动机绝缘电阻异常； (5) 轴承磨损、温度异常。
13	舱底污水管子、滤器、污水井吸口、污油管子	压力	(1) 吸口滤网、泥箱脏堵； (2) 机舱应急舱底水吸口操纵阀失效。
14	压载水管子、阀门及压载水操纵系统	压力	(1) 遥控阀操纵失效。
15	燃油、滑油、冷却水、锅炉水的压力滤器、加热器、冷却器、各式滤器	压力	(1) 滤网、管路脏堵； (2) 管式加热器或冷却器：脏堵，管板铆接处水密封不良； (3) 板式加热器或冷却器：板片腐蚀、密封不良。
16	油船专用系统		
16.1	泵舱内的货油泵、舱底泵、扫舱泵、专用压载泵	振动、噪声、绝缘电阻	(1) 底座、定位销或紧固螺栓松动； (2) 噪声、振动异常； (3) 电动机绝缘电阻异常； (4) 轴承磨损、温度异常。
16.1.1	货油泵	振动、压力、温度、绝缘电阻	(1) 部件腐蚀、变形、磨损； (2) 轴封泄漏； (3) 轴系校中不良； (4) 遥控切断失效； (5) 电动机绝缘电阻异常； (6) 轴承磨损、温度异常。

序号	设备/性能	主要监测参数	典型故障/失效
16.1.2	扫舱泵	振动、压力、温度、绝缘电阻	(1) 部件腐蚀、变形、磨损； (2) 轴封泄漏； (3) 轴系校中不良； (4) 遥控切断失效； (5) 轴承磨损、温度异常。
16.1.3	专用压载泵	振动、压力、温度、绝缘电阻	(1) 轴封泄漏； (2) 电动机绝缘电阻异常； (3) 轴承磨损、温度异常。
16.1.4	舱底泵	振动、压力、温度、绝缘电阻	(1) 轴封泄漏； (2) 遥控切断失效； (3) 电动机绝缘电阻异常； (4) 轴承磨损、温度异常。
16.1.5	泵传动密封装置	温度	(1) 密封装置损坏、泵轴卡阻。
16.1.6	管系、附件	压力	(1) 泄露。
16.2	货油舱透气系统	压力	(1) 货油舱、污水水舱的透气系统（包括呼吸阀）脏堵； (2) 货油舱呼吸阀脏堵； (3) 拆检设有 IGS 的货油舱高速透气阀脏堵。
16.3	原油洗舱机洗舱加热器		
16.3.1	原油洗舱机	温度、压力、绝缘电阻	洗舱泵： (1) 温度异常； (2) 流量、压力异常； (3) 电动机绝缘电阻异常； (4) 轴承磨损、温度异常。
16.3.2	洗舱加热器	压力、温度	(1) 加热管系泄漏； (2) 温度异常； (3) 管板腐蚀； (4) 安全阀失效； (5) 隔离加热器与原油洗舱管系的阀件失效。
16.4	货油加热系统	压力、温度	(1) 管路安全阀、减压阀、压力自动调节阀及调节器等失效； (2) 加热管系腐蚀、泄漏； (3) 加热管松动。
16.5	货油泵舱通风系统	振动、噪声、温度	通风机： (1) 噪声异常； (2) 喘振、振动异常； (3) 转子局部损坏； (4) 电流过大或温升过高；

序号	设备/性能	主要监测参数	典型故障/失效
			(5) 轴承磨损或温度异常。 (6) 通风机贯穿舱壁的轴传动密封不良； (7) 通风机应急切断失效、及应急风口脏堵； (8) 风机与泵舱照明联锁装置失效。
16.6	货油、压载控制站有关仪表	压力、液位、气体浓度	(1) 有关仪表失效：如汽轮机进口蒸汽压力表、货油泵转速表、货油出口压力表、货油出口温度表、洗舱加热器海水出口温度表、压载泵出口压力表、液压泵站液压油出口压力表、控制站电压表、电流表、控制空气压力表等； (2) 货油系统遥控阀及阀位指示器的液压油泄漏、阀位指示器失效； (3) 泵舱舱底水位过高； (4) 可燃气体浓度超标。
16.7	惰性气体系统		
16.7.1	惰性气体系统	压力、其他浓度	(1) 管路、部件严重腐蚀、漏水、漏气等； (2) 氧气浓度超标。
16.7.1.1	惰性气体系统的监控装置	压力、温度、气体浓度	(1) 惰性气体总管内气体含氧量过高； (2) 惰性气体总管内气体压力过低； (3) 甲板水封供水压力过低； (4) 惰性气体总管内气体温度过高； (5) 洗涤塔供水压力过低； (6) 与货油泵出口压力参数的联锁失效。
16.7.1.2	惰性气体发生器、洗涤塔、风机、甲板水封	压力、振动、噪声	(1) 洗涤塔内喷头、滤网脏堵； (2) 通风机噪声、振动异常，喘振，轴承磨损或温度异常； (3) 压力真空破断器内部严重腐蚀。
16.7.13	冷却水泵	压力、振动	(1) 泵轴的轴封处磨损、泄漏； (2) 叶轮腐蚀、失衡； (3) 叶轮与泵壳间隙异常； (4) 叶片、齿面磨损； (5) 轴封装置磨损； (6) 轴承磨损。
17	液货系统（散装液化气体运输船）		
17.1	液货泵	振动、噪声、流量、压力	(1) 振动、噪声、温度异常； (2) 泄漏； (3) 流量、压力异常。
17.2	原动机	绝缘电阻、温度、电流	(1) 绝缘电阻异常； (2) 电流过大、温升过高。

序号	设备/性能	主要监测参数	典型故障/失效
17.3	泵舱轴气密装置	压力	(1) 密封不良。
17.4	压缩机舱轴气密装置	压力	(1) 密封不良。
17.5	液货管系	压力	(1) 脏堵、腐蚀。
17.6	阀	振动、噪声、压力	(1) 泄漏、腐蚀、冲蚀； (2) 振动、噪声异常。
18	液货系统（散装危险化学品运输船）		
18.1	液货泵	振动、噪声、压力、流量	(1) 振动、噪声、温度异常； (2) 泄漏； (3) 流量、压力异常。
18.2	液货管系	压力	(1) 脏堵、腐蚀。
18.3	阀	压力、振动、噪声	(1) 泄漏、腐蚀、冲蚀； (2) 振动、噪声异常。
618.4	液货舱	液位	(1) 液位异常。

注：

- ① 对于开式水润滑轴系，可不必监测尾轴后端的密封状态。
- ② 按《智能船舶规范》第4章4.1.6的规定，如经风险分析确定无气体燃料泄漏到相关辅助系统（如滑油系统、冷却水系统）的风险，该监测要求不适用。